



**Gabriela Teixeira Costa Ferreira**

Licenciatura em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**Análise e Avaliação da Aceitação e  
Intenção de Uso de Exo-esqueletos  
Passivos para os Membros Superiores  
numa Indústria Automóvel**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Isabel Maria do  
Nascimento Lopes Nunes, Professora Associada com  
Agregação, Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professora Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos  
Vogais: Professora Doutora Teresa Patrone Cotrim  
Doutora Jacqueline Carol Martins Gaspar Bandeira  
Professora Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Abril 2020**



**Gabriela Teixeira Costa Ferreira**

Licenciatura em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**Análise e Avaliação da Aceitação e  
Intenção de Uso de Exo-esqueletos  
Passivos para os Membros Superiores  
numa Indústria Automóvel**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Isabel Maria do  
Nascimento Lopes Nunes, Professora Associada com  
Agregação, Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professora Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos  
Vogais: Professora Doutora Teresa Patrone Cotrim  
Doutora Jacqueline Carol Martins Gaspar Bandeira  
Professora Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes

**Abril 2020**



## **Análise e Avaliação da Aceitação e Intenção de Uso de Exo-esqueletos Passivos para os Membros Superiores numa Indústria Automóvel**

Copyright © 2018 Gabriela Teixeira Costa Ferreira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Dedicatória

Aos meus pais, José Costa Ferreira e Fernanda Costa Ferreira.

## Agradecimentos

À Professora Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes, pelas orientações, conselhos, paciência e disponibilidade desde o primeiro dia.

À Jacqueline Gaspar, supervisora na *Volkswagen* Autoeuropa, por todos os ensinamentos, orientações e desafios, pela paciência e pela confiança.

Ao Carlos Fужão, que foi o meu primeiro contacto na *Volkswagen* Autoeuropa, pela oportunidade, pelos ensinamentos, disponibilidade e paciência.

À *Volkswagen* Autoeuropa e a toda a equipa de *Industrial Engineering & Lean Management* pelo acolhimento, boa disposição e por todos os ensinamentos.

Aos colaboradores da *Volkswagen* Autoeuropa que participaram neste projeto, pelo tempo e pela disponibilidade.

Aos meus amigos e colegas que me acompanharam no meu percurso académico, especialmente à Verónica Domingos, à Filipa Martins e à Raquel Oliveira por todos os conselhos, apoio e carinho nesta etapa.

Aos meus pais, tios, irmão e restante família que me apoiaram sempre e que permitiram que tudo isto fosse possível.





## Resumo

Os exo-esqueletos estão a ser desenvolvidos e recomendados como equipamentos vestíveis que podem ser utilizados por trabalhadores expostos a condições de trabalho exigentes como, por exemplo, o trabalho realizado acima do nível dos ombros.

Este estudo foi desenvolvido para avaliar a aceitação do utilizador e a intenção de uso de dois exo-esqueletos para os membros superiores, Skelex Mark 1.3® e Skelex 360®, em postos de trabalho, onde as medidas técnicas e organizacionais implementadas não são suficientes para reduzir o risco inerente à exposição ao trabalho realizado acima do nível dos ombros.

Os exo-esqueletos foram testados em 4 postos de trabalho, por 49 trabalhadores: durante 4 semanas consecutivas com o Skelex Mark 1.3® e 2 semanas consecutivas com o Skelex 360®.

A aceitação do utilizador e a intenção de uso foram avaliadas através de um questionário, entregue aos participantes após a primeira e última utilização do exo-esqueleto. O questionário foi elaborado com 5 dimensões de pesquisa: (i) percepção de esforço com e sem exo-esqueleto; (ii) desconforto; (iii) percepção de utilidade; (iv) percepção de facilidade de uso e (v) intenção de uso. Após cada utilização, os participantes também foram solicitados a: (i) avaliar como a utilização do exo-esqueleto os ajudou ou perturbou durante a execução das tarefas e (ii) dar as suas opiniões, através de perguntas abertas, sobre as suas experiências positivas ou negativas.

Neste estudo conclui-se que a percepção de esforço, o desconforto, a percepção de utilidade, a percepção de facilidade de uso e o tempo de utilização influenciam a aceitação e intenção de uso. Adicionalmente, as características das estações de trabalho, nomeadamente o tipo de tarefas realizadas, podem influenciar a aceitação e intenção de uso, *i.e.*, quanto mais estáticas são as tarefas realizadas acima do nível do ombro e quanto maior for a ocorrência de tarefas estáticas cumulativas, maior a probabilidade de os participantes quererem utilizar o exo-esqueleto. Através destes resultados elaborou-se o Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos para os Membros Superiores. Os resultados obtidos também foram utilizados para elaborar propostas de melhoria para o Skelex 360®, de modo a este corresponder às necessidades inerentes dos trabalhadores nos seus postos de trabalho, como por exemplo, redução do número de pontos de contacto com o corpo, alterações do seu mecanismo e do design das braçadeiras.

Palavras-Chave: exo-esqueleto passivo, exo-esqueleto industrial, protocolo, aceitação do utilizador.



## Abstract

Exoskeletons are being developed and recommended as wearable devices that could be used by workers exposed to demanding working conditions, such as overhead work.

This study was developed to assess the user acceptance and the intention of use of an upper limb exoskeletons, Skelex Mark 1.3® and Skelex 360®, in a group of workplaces, where technical and organizational measures implemented are not enough to reduce the risk exposure to above shoulder level work.

The exoskeleton was tested in 4 workplaces, by 49 workers, during 4 consecutive weeks with Skelex Mark 1.3® and 2 consecutive weeks with Skelex 360®.

The user acceptance and the intention of use were assessed by a survey, provided to the participants after the first and the last use of the exoskeleton. The survey was designed with 5 research dimensions: (i) perceived effort with and without exoskeleton; (ii) discomfort; (iii) perceived utility; (iv) perceived ease of use and (v) intention of use. After each use, participants were, also, requested to: (i) rate how the use of the exoskeleton helped and disturbed them while performing the working processes and (ii) to give feedback, by open-ended questions, about their positive or negative experiences.

This study concludes that the perceived effort, discomfort, perceived usefulness, perceived ease of use and usage time influence acceptance and intention to use. In addition, the characteristics of workstations, *e.g.*, the type of tasks performed, can influence the acceptance and intention to use, *i.e.*, the more static the tasks performed above shoulder level and the more the occurrence of static cumulative tasks are, the more likely participants are willing to use the exoskeleton. Through these results, the Recommendation Model for Upper Limb Exoskeletons Usage was developed. The results obtained were also used to elaborate proposals to improve the Skelex 360®, in order to correspond to the inherent needs of the workers in their workstations, *e.g.*, reduce the number of contact points with the body, changes to the exoskeleton's mechanism and arm cup's design.

**Keywords:** passive exoskeleton, industrial exoskeleton, protocol, user acceptance.



## Índice de Matérias

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos .....	6
1.3	Fases de Trabalho.....	7
1.4	Estrutura da Dissertação.....	8
<b>2</b>	<b>EXO-ESQUELETOS E AVALIAÇÃO DA SUA UTILIZAÇÃO – ENQUADRAMENTO TEÓRICO</b>	<b>11</b>
2.1	Exo-esqueletos .....	11
2.1.1	Classificação de Exo-esqueletos .....	13
2.1.2	Utilização de Exo-esqueletos nas Organizações Industriais .....	15
2.2	Aceitação da tecnologia .....	18
2.2.1	Usabilidade.....	19
2.2.2	<i>User Experience</i> .....	20
2.2.3	Modelo de Aceitação da Tecnologia.....	21
2.2.4	Questionários de Usabilidade.....	22
2.3	Desconforto .....	25
2.4	Perceção de Esforço .....	26
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>29</b>
3.1	Pré-Teste .....	30
3.1.1	Skelex Mark 1.3® .....	30
3.1.2	Protocolo Inicial .....	30
3.1.3	Análise dos Resultados.....	33
3.2	Alteração do Protocolo Inicial.....	34
3.3	1ª Fase .....	36
3.3.1	Protocolo Revisto .....	36
3.3.2	Análise dos Resultados.....	39
3.4	Alteração do Protocolo Revisto.....	42
3.5	2ª Fase .....	42
3.5.1	Skelex 360®.....	42
3.5.2	Protocolo Revisto Adaptado.....	43
3.5.3	Análise dos Resultados.....	45
3.5.4	Comparação dos Resultados na Utilização de dois Exo-esqueletos.....	45
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>47</b>
4.1	Pré-Teste .....	47
4.1.1	Questionário Diário .....	47

4.1.2	Questionário de Usabilidade .....	48
4.2	Alteração do Protocolo Inicial.....	50
4.2.1	Questionário Diário .....	51
4.2.2	Questionário de Usabilidade .....	52
4.3	1ª Fase .....	53
4.3.1	Questionário Diário .....	53
4.3.2	Questionário de Usabilidade .....	55
4.3.3	Identificação de fatores que influenciam a aceitação e intenção de uso .....	61
4.4	Alteração do Protocolo Revisto.....	68
4.5	2ª Fase .....	69
4.5.1	Questionário Diário .....	69
4.5.2	Questionário de Usabilidade .....	71
4.5.3	Identificação de fatores que influenciam a aceitação e intenção de uso .....	76
4.5.4	Comparação dos Resultados na Utilização de dois Exo-esqueletos.....	80
4.6	Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos .....	86
5	CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES .....	91
5.1	Conclusões .....	91
5.2	Limitação do estudo .....	92
5.3	Recomendações.....	93
	BIBLIOGRAFIA.....	95
	ANEXOS.....	101
	Anexo A: Skelex Mark 1.3®.....	101
	Anexo B: Skelex 360® .....	102
	Anexo C: Questionário de Usabilidade_0 – Pré-teste .....	103
	Anexo D: Questionário Diário_0 – Pré-teste .....	106
	Anexo E: Questionário de Usabilidade_1 – 1ª Fase e 2ª Fase.....	107
	Anexo F: Questionário Diário_1 – 1ª Fase e 2ª Fase .....	111
	Anexo G: Questionário de Usabilidade_1 (Questão 8) – 2ª Fase.....	112

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.1</b> - Percentagem de trabalhadores na Europa que trabalham em posições dolorosas ou fatigantes (2015).....	4
<b>Figura 1.2</b> - Utilização do exo-esqueleto na Indústria .....	5
<b>Figura 1.3</b> - Fases de Trabalho.....	7
<b>Figura 2.1</b> - Protótipo do Hardiman I.....	12
<b>Figura 2.2</b> - <i>Mihailo Pupin Exoskeleton</i> .....	12
<b>Figura 2.3</b> - Aceitação do sistema.....	19
<b>Figura 2.4</b> - Technology Acceptance Model.....	22
<b>Figura 3.1</b> - Metodologia.....	29
<b>Figura 3.2</b> - Utilização do Skelex Mark 1.3® na “Cópia ao Alto” (a) Utilização da <i>powertool</i> (b) Passagem de pedra.....	31
<b>Figura 3.3</b> - Utilização do Skelex Mark 1.3® na “Cablagem do Portão” (a) Roteamento e clipagem da cablagem (b) Passagem do saco da cablagem.....	37
<b>Figura 3.4</b> - Utilização do Skelex Mark 1.3® na “EPB/ Ligação Tubos Travão” (a) Apertar os tubos de travão (b) Clipar a cablagem.....	38
<b>Figura 3.5</b> - Utilização do Skelex Mark 1.3® no “Aperto do Noise Shield” (a) Aparafusar noise shield (b) Clipar noise shield.....	38
<b>Figura 3.6</b> - Procedimento de seleção dos testes estatísticos .....	40
<b>Figura 3.7</b> - Utilização do Skelex 360® nas estações de trabalho (a) "Cablagem do Portão" (b) EPB/ Ligação Tubos Travão (c) "Aperto Noise Shield" .....	43
<b>Figura 4.1</b> - Resultados do desconforto - Operador 1 .....	48
<b>Figura 4.2</b> - Resultados do desconforto - Operador 2 .....	49
<b>Figura 4.3</b> - Resultados da utilização do exo-esqueleto na "Cablagem do Portão" – 1ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba.....	54
<b>Figura 4.4</b> - Resultados da utilização do exo-esqueleto na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 1ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba.....	54
<b>Figura 4.5</b> - Resultados da utilização do exo-esqueleto no "Aperto do Noise Shield" – 1ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba .....	54
<b>Figura 4.6</b> - Resultados da perceção de esforço no primeiro dia de utilização na "Cablagem do Portão" – 1ª Fase .....	55
<b>Figura 4.7</b> - Resultados da perceção de esforço no primeiro dia de utilização na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 1ª Fase .....	56
<b>Figura 4.8</b> - Resultados da perceção de esforço no primeiro dia de utilização no "Aperto do Noise Shield" – 1ª Fase .....	56
<b>Figura 4.9</b> - Resultados da perceção de esforço no último dia de utilização na "Cablagem do Portão" – 1ª Fase .....	57
<b>Figura 4.10</b> - Resultados da perceção de esforço no último dia de utilização na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 1ª Fase .....	57
<b>Figura 4.11</b> - Resultados da perceção de esforço no último dia de utilização no "Aperto do Noise Shield" – 1ª Fase .....	58
<b>Figura 4.12</b> - Resultados do desconforto no primeiro e último dia de utilização na "Cablagem do Portão" – 1ª Fase .....	59
<b>Figura 4.13</b> - Resultados do desconforto no primeiro e último dia de utilização na "EPB/ Ligação Tubos Travão " – 1ª Fase.....	59
<b>Figura 4.14</b> - Resultados do desconforto no primeiro e último dia de utilização no “Aperto do Noise Shield” – 1ª Fase .....	59
<b>Figura 4.15</b> - Verificação da distribuição amostral da “Cablagem do Portão” – 1ª Fase.....	62
<b>Figura 4.16</b> - Verificação da distribuição amostral da “EPB/ Ligação Tubos Travão” – 1ª Fase .....	62

<b>Figura 4.17</b> - Verificação da distribuição amostral do “Aperto do Noise Shield” – 1ª Fase.....	62
<b>Figura 4.18</b> - Resultados da utilização do exo-esqueleto na "Cablagem do Portão" – 2ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba.....	69
<b>Figura 4.19</b> - Resultados da utilização do exo-esqueleto na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 2ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba.....	70
<b>Figura 4.20</b> - Resultados da utilização do exo-esqueleto no "Aperto do Noise Shield" – 2ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba .....	70
<b>Figura 4.21</b> - Resultados da percepção de esforço na "Cablagem do Portão" – 2ª Fase .....	71
<b>Figura 4.22</b> - Resultados da percepção de esforço na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 2ª Fase .....	71
<b>Figura 4.23</b> - Resultados da percepção de esforço no “Aperto do Noise Shield” – 2ª Fase.....	72
<b>Figura 4.24</b> - Resultados do desconforto na "Cablagem do Portão " – 2ª Fase.....	73
<b>Figura 4.25</b> - Resultados do desconforto na "EPB/ Ligação Tubos Travão " – 2ª Fase.....	73
<b>Figura 4.26</b> - Resultados do desconforto no "Aperto do Noise Shield " – 2ª Fase .....	73
<b>Figura 4.27</b> - Verificação da distribuição amostral da "Cablagem do Portão"– 2ª Fase .....	76
<b>Figura 4.28</b> - Verificação da distribuição amostral da "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 2ª Fase .....	76
<b>Figura 4.29</b> - Verificação da distribuição amostral do "Aperto do Noise Shield" – 2ª Fase.....	76
<b>Figura 4.30</b> - Resultados da comparação entre a utilização do Skelex Mark 1.3® e o Skelex 360® na "Cablagem do Portão" .....	80
<b>Figura 4.31</b> - Resultados da comparação entre a utilização do Skelex Mark 1.3® e o Skelex 360® na "EPB/ Ligação Tubos Travão" .....	81
<b>Figura 4.32</b> - Resultados da comparação entre a utilização do Skelex Mark 1.3® e o Skelex 360® no “Aperto do Noise Shield”.....	81
<b>Figura 4.33</b> - Comparação dos resultados do desconforto na "Cablagem do Portão" .....	82
<b>Figura 4.34</b> - Comparação dos resultados do desconforto na "EPB/ Ligação Tubos Travão" ...	82
<b>Figura 4.35</b> - Comparação dos resultados do desconforto no "Aperto do Noise Shield" .....	82
<b>Figura 4.36</b> - Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos para os Membros Superiores.....	88
<b>Figura 4.37</b> - Estações de trabalho recomendadas segundo o Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos para os Membros Superiores .....	89
<b>Figura A. 1</b> - Skelex Mark 1.3® (a) Vista Frontal (b) Vista Posterior.....	101
<b>Figura B. 1</b> - Skelex 360® (a) Vista Frontal (b) Vista Posterior.....	102



## Índice de Tabelas

<b>Tabela 2.1</b> - Classificação de exo-esqueletos .....	13
<b>Tabela 2.2</b> - Estudos realizados para avaliar a utilização de exo-esqueletos .....	16
<b>Tabela 2.3</b> - SUS: versão <i>standard</i> vs. versão positiva vs. versão <i>standard</i> traduzida para português .....	23
<b>Tabela 2.4</b> - Itens do UMUX .....	24
<b>Tabela 2.5</b> - Itens do UMUX-LITE .....	24
<b>Tabela 2.6</b> - TUI: Itens de avaliação da intenção de uso .....	25
<b>Tabela 3.1</b> - Escala de Borg CR-10 .....	35
<b>Tabela 3.2</b> - Tarefas realizadas na "Cablagem do Portão" .....	36
<b>Tabela 3.3</b> - Tarefas realizadas na "EPB/ Ligação Tubos Travão" .....	37
<b>Tabela 3.4</b> - Tarefas realizadas no "Aperto do Noise Shield" .....	38
<b>Tabela 4.1</b> - Resultados do Questionário Diário - Operador 1 .....	47
<b>Tabela 4.2</b> - Resultados do Questionário Diário - Operador 2 .....	47
<b>Tabela 4.3</b> - Resultados da aceitação e intenção de uso - Operador 1 .....	49
<b>Tabela 4.4</b> - Resultados da aceitação e intenção de uso - Operador 2 .....	50
<b>Tabela 4.5</b> - Alterações aplicadas no Questionário Diário .....	51
<b>Tabela 4.6</b> - Alteração das questões de aceitação e intenção de uso aplicadas no Questionário de Usabilidade .....	53
<b>Tabela 4.7</b> - Amostra - 1ª Fase .....	53
<b>Tabela 4.8</b> - Resultados da aceitação e intenção de uso na "Cablagem do Portão" – 1ª Fase: (a) Inicial (b) Final .....	60
<b>Tabela 4.9</b> - Resultados da aceitação e intenção de uso na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 1ª Fase: (a) Inicial (b) Final .....	60
<b>Tabela 4.10</b> - Resultados da aceitação e intenção de uso no "Aperto do Noise Shield" – 1ª Fase: (a) Inicial (b) Final .....	61
<b>Tabela 4.11</b> - Verificação da distribuição da amostra – 1ª Fase .....	63
<b>Tabela 4.12</b> - Correlação entre as variáveis da "Cablagem do Portão" – 1ª Fase .....	64
<b>Tabela 4.13</b> - Correlação entre as variáveis da "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 1ª Fase .....	64
<b>Tabela 4.14</b> - Correlação entre as variáveis do "Aperto do Noise Shield" – 1ª Fase .....	65
<b>Tabela 4.15</b> - Verificação de diferenças significativas na percepção de esforço sem e com o exo-esqueleto – 1ª Fase .....	66
<b>Tabela 4.16</b> - Verificação de diferenças significativas entre a primeira e a última utilização – 1ª Fase .....	67
<b>Tabela 4.17</b> - Características reportadas com maior frequência em cada estação de trabalho .....	68
<b>Tabela 4.18</b> - Amostra – 2ª Fase .....	69
<b>Tabela 4.19</b> - Resultados da aceitação e intenção de uso na "Cablagem do Portão" – 2ª Fase .....	74
<b>Tabela 4.20</b> - Resultados da aceitação e intenção de uso na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 2ª Fase .....	75
<b>Tabela 4.21</b> - Resultados da aceitação e intenção de uso no "Aperto do Noise Shield" – 2ª Fase .....	75
<b>Tabela 4.22</b> - Verificação da distribuição da amostra – 2ª Fase .....	77
<b>Tabela 4.23</b> - Correlação entre as variáveis da "Cablagem do Portão" – 2ª Fase .....	77
<b>Tabela 4.24</b> - Correlação entre as variáveis da "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 2ª Fase .....	77
<b>Tabela 4.25</b> - Correlação entre as variáveis do "Aperto do Noise Shield" – 2ª Fase .....	78
<b>Tabela 4.26</b> - Verificação de diferenças significativas na percepção de esforço sem e com o exo-esqueleto – 2ª Fase .....	79
<b>Tabela 4.27</b> - Resultados da aceitação e intenção de uso – 1ª Fase e 2ª Fase .....	83
<b>Tabela 4.28</b> - Diferenças significativas entre a utilização de Skelex Mark 1.3® & Skelex 360® .....	84

<b>Tabela 4.29</b> - Percentagem de trabalho realizado acima do nível do ombro e número de interrupções de tarefas estáticas por ciclo de trabalho .....	86
<b>Tabela 4.30</b> - Correlação entre as variáveis – 1ª Fase e 2ª Fase .....	87
<b>Tabela A. 1</b> - Amplitude de medidas permitidas para a utilização do Skelex Mark 1.3® .....	101
<b>Tabela B. 1</b> - Amplitude de medidas permitidas para a utilização do Skelex 360® .....	102

## Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

<b>ANS</b>	Aperto do Noise Shield
<b>CP</b>	Cablagem do Portão
<b>D.</b>	Desconforto
<b>EAWS</b>	<i>Ergonomic Assessment Work-Sheet</i>
<b>EPB</b>	EPB/ Ligação Tubos de Travão
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>
<b>LMERT</b>	Lesões Músculo-esqueléticas Relacionadas com o Trabalho
<b>MPV</b>	<i>Multiple Purpose Vehicle</i>
<b>n</b>	Dimensão da amostra
<b>p</b>	<i>p-value</i>
<b>PE.</b>	Percepção de esforço
<b>RGDP</b>	Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados
<b>SUS</b>	<i>System Usability Scale</i>
<b>TAM</b>	<i>Technology Acceptance Model</i>
<b>TUI</b>	<i>Technology Usage Inventory</i>
<b>UMUX</b>	<i>Usability Metric for User Experience</i>
<b>UTAUT</b>	<i>Unified Theory of Acceptance and Use of Technology</i>
<b>UX</b>	<i>User Experience</i>
<b><math>\alpha</math></b>	Nível de significância
<b><math>\rho</math></b>	Coeficiente de correlação



# 1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo descreve-se o enquadramento e os objetivos do estudo, a metodologia de trabalho e a estrutura da dissertação.

## 1.1 Enquadramento

A existência de efeito cumulativo no desequilíbrio entre solicitações mecânicas repetidas do trabalho e as capacidades de adaptação da região corporal afetada, durante um período em que o tempo não é suficiente para a recuperação da fadiga, provoca o desenvolvimento de Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT) (Nunes, 2005, 2006). Da mesma forma, as LMERT podem ocorrer devido à inadequada organização do trabalho, como seja por exemplo, a realização de tempos de repouso insuficientes para a redução da fadiga (Nunes, 2005).

A realização de certas atividades de trabalho pode expor os trabalhadores a fatores de risco que contribuem para o desenvolvimento de LMERT, como seja por exemplo (Nunes, 2006):

- Atividades de trabalho que impliquem a prática de posturas não adequadas e/ ou em que seja exercida força excessiva;
- Tarefas repetitivas que impliquem a realização de movimentos e de esforços musculares cíclicos;
- Quando objetos exercem pressão contra a superfície do corpo;
- Quando a vibração do objeto de trabalho é transmitida ao corpo;
- Devido à temperatura do meio ambiente e dos objetos de trabalho com que o corpo está em contacto.

De modo que a lesão não se torne permanente e que o trabalhador não evidencie inaptidão através da perda de funções, perda de força muscular ou limitação dos movimentos, ao realizar atividades de trabalho, é necessário atuar nas causas (Nunes, 2006).

Os atributos, experiências ou exposições que aumentem a probabilidade de desenvolvimento de uma doença ou lesão designam-se fatores de risco. Existem três categorias de fatores de risco com diferentes características, nomeadamente (Nunes, 2005, 2006):

- Físicos: postura, força, repetitividade, pressão direta externa, vibração e frio. Estes fatores de risco abrangem os fatores biomecânicos e os ambientais.
- Psicossociais: conteúdo do trabalho (por exemplo, carga de trabalho e a monotonia da tarefa); características organizacionais (por exemplo, comunicação dentro da organização); relações interpessoais no trabalho (por exemplo, insuficiente suporte

social); aspetos financeiros e económicos (por exemplo, o salário, os benefícios e a equidade) e aspetos sociais (por exemplo, o estatuto perante a sociedade). São fatores de natureza não biomecânica relacionados com o trabalho.

- Individuais: características pessoais (por exemplo, sexo, idade, características antropométricas); condição física e antecedentes clínicos e profissionais. São fatores de suscetibilidade do indivíduo, não relacionados com o trabalho.

Das três categorias de fatores de risco, os psicossociais por si só não originam LMERT. Quando combinados com fatores de risco físicos podem aumentar o risco de desenvolvimento de lesões. Tal deve-se ao facto de os fatores psicossociais serem perceções subjetivas e a importância emocional que os trabalhadores concedem aos fatores de risco organizacionais, que são o modo como o trabalho está organizado e é efetuado (Nunes, 2005).

A duração de exposição ao risco deve ser tida em conta na avaliação dos fatores de risco. Como todos os fatores interagem entre si, a duração de exposição ao risco deve ser considerada em qualquer das três categorias de fatores de risco (Nunes, 2005).

Para controlar os fatores de risco, há que ter em consideração as características do posto de trabalho, os equipamentos e ferramentas utilizadas, as exigências cognitivas das tarefas e também aos fatores organizacionais ou aspetos ambientais. O controlo dos fatores de risco para as LMERT é estabelecido por três categorias de estratégias de intervenção que devem ser aplicadas de acordo com a seguinte ordem de importância (Nunes, 2006):

1. Controlos de engenharia: são intervenções que incidem na eliminação ou redução dos fatores de risco. Envolvem alterações ao nível das ferramentas, dos equipamentos, da configuração dos postos de trabalho, dos materiais manuseados, das tarefas, dos métodos e dos processos de trabalho ou do ambiente de trabalho.
2. Controlos administrativos: são intervenções que incidem nos fatores organizacionais. Envolvem procedimentos ao nível do conteúdo e tempos de trabalho e das características da organização. Estas medidas não eliminam os riscos, mas atuam ao nível da duração da exposição.
3. Equipamento de proteção individual: utilizados para proteger os trabalhadores dos riscos residuais. Estabelece uma barreira física entre o risco e o trabalhador.

As estratégias de prevenção permitem a redução da incidência e do impacto das LMERT. Estas estratégias são classificadas em primária, secundária e terciária (Nunes, 2005, 2006):

- Prevenção primária: a intervenção é realizada antes do desenvolvimento de lesões.
- Prevenção secundária: a intervenção é realizada depois de serem verificadas ocorrências de desenvolvimento de lesões.

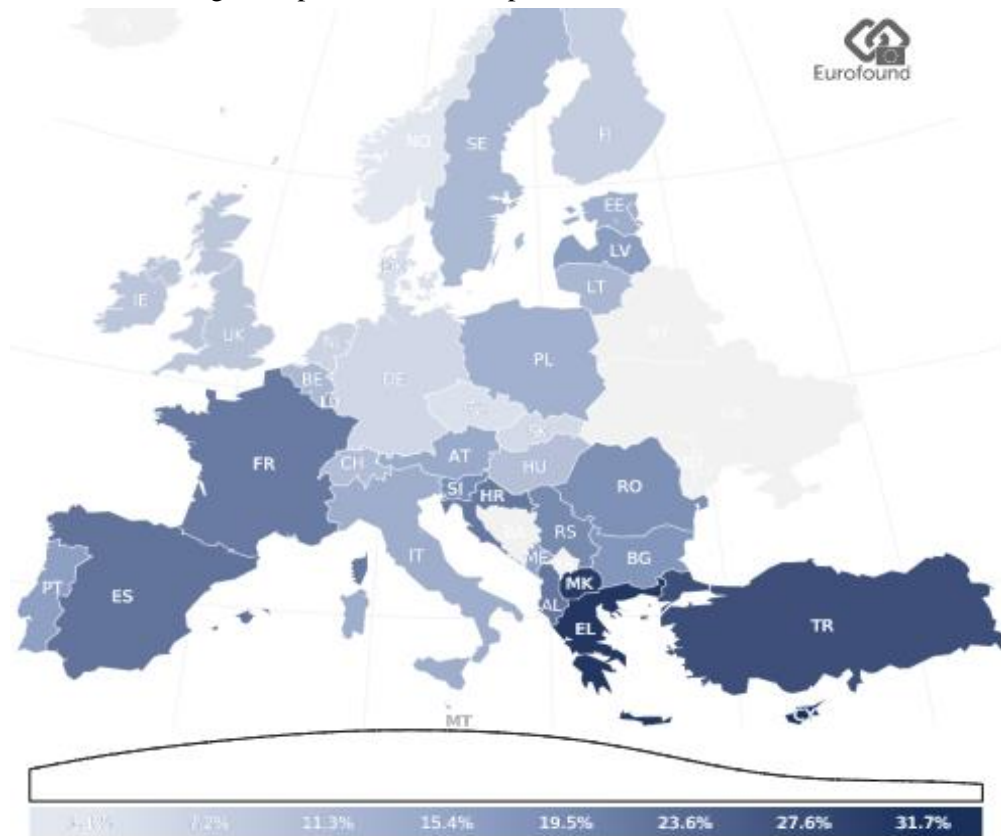
- Prevenção terciária: a intervenção é realizada com o objetivo de maximizar a utilização da capacidade funcional de trabalhadores portadores de lesões crônicas considerando as limitações que possuem.

As estratégias de prevenção juntamente com as estratégias de intervenção têm por objetivo evitar o desenvolvimento de LMERT. Atuam preferencialmente na eliminação dos fatores de risco que estão na sua origem, seguindo o princípio fundamental em saúde e segurança no trabalho (Nunes, 2006).

As LMERT associadas a condições repetitivas e exigentes de trabalho continuam a representar um dos maiores problemas ocupacionais nas organizações. São uma preocupação na Europa, dado ao aumento dos trabalhadores afetados, sendo a principal categoria de doenças profissionais que interfere em todos os setores de atividade (Nunes, 2009).

Durante muitos anos o desenvolvimento de LMERT foi assumido como uma consequência inevitável da realização das atividades de trabalho praticadas. Contudo com a evolução tecnológica este tipo de problemas não desapareceu. O desenvolvimento tecnológico que se tem verificado levou a um aumento da carga de trabalho, caracterizada por um ritmo, em que os tempos de descanso e de recuperação são mínimos (Nunes, 2005).

Segundo o inquérito europeu sobre as condições de trabalho realizado em 2015, 16% dos trabalhadores em Portugal consideram que quase sempre os seus trabalhos implicam posições dolorosas ou fatigantes (Eurofound, 2016). A **figura 1.1** apresenta as percentagens de trabalhadores que trabalham em posições dolorosas ou fatigantes, pelo que as más condições de trabalho ainda são um grande problema na Europa.



**Figura 1.1** - Percentagem de trabalhadores na Europa que trabalham em posições dolorosas ou fatigantes (2015)

Fonte: (Eurofound, 2016)

No contexto industrial, as abordagens de intervenção para controlar exigências fisiológicas e biomecânicas incluem controlos de engenharia, como por exemplo, inclinação dos carros nas linhas de montagem, ferramentas para tarefas específicas e programas de exercícios no local de trabalho, como por exemplo, realização de alongamentos (Kim et al., 2018(a)).

Em situações em que o potencial dos controlos de engenharia e administrativos são limitados para o design ergonómico do local de trabalho (Hensel & Keil, 2019), os exo-esqueletos, que devido às suas características poderão reduzir o desenvolvimento de LMERT (Huysamen et al., 2018), podem ser considerados sistemas de suporte inovadores e ajudar os trabalhadores na realização das suas tarefas (Hensel & Keil, 2019).

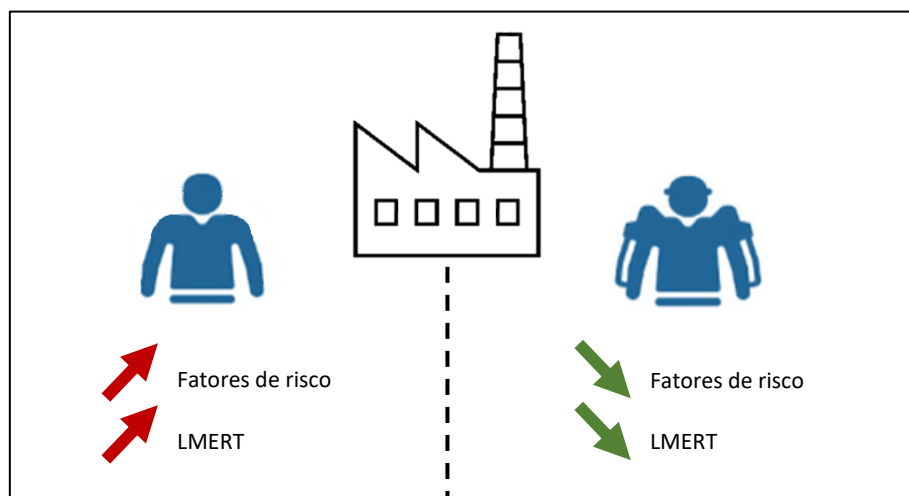


Na atualidade há um crescente interesse na utilização de exo-esqueletos para ajudar no controlo das exigências físicas, particularmente as que resultam da movimentação manual de cargas, como seja por exemplo, na elevação e no transporte de cargas (Kim et al., 2018(a)).

O exo-esqueleto é um equipamento vestível que suporta o sistema músculo-esquelético através de vários princípios mecânicos (Peters & Wischniewski, 2019), tendo como objetivo melhorar o desempenho do utilizador, reduzindo assim o esforço físico (Huysamen et al., 2018; Kim et al., 2018 (b)).

O conceito de exo-esqueleto surgiu em 1890, tendo sido nessa altura patenteado o Yagn, um equipamento semelhante a um exo-esqueleto para caminhar e correr. Em 1965, a General Electric Research construiu um protótipo de um exo-esqueleto elétrico de corpo inteiro, denominado de Hardiman. A função do Hardiman era de aumentar a força humana (Ali, 2014). Posteriormente, os exo-esqueletos começaram a surgir para fins clínicos, nomeadamente na reabilitação e para fins militares e só recentemente tiveram aplicação na indústria. Na indústria existem determinadas tarefas de movimentação manual de cargas que podem ser automatizadas, mas outras são difíceis de automatizar, pois exigem precisão humana, tomada de decisão, flexibilidade e capacidade de movimentação (Huysamen et al., 2018). No contexto da aplicação industrial, um exo-esqueleto pode ser definido como um sistema que age mecanicamente no corpo do trabalhador para reduzir a carga de trabalho físico (Kim et al., 2018 (b)).

A introdução dos exo-esqueletos na indústria tornou-se uma realidade desde que protótipos de exo-esqueletos comprovaram ser benéficos no contexto clínico. Em particular, os exo-esqueletos podem ter um potencial benefício para o controlo do desenvolvimento de LMERT (Peters & Wischniewski, 2019). Se os exo-esqueletos diminuïrem a exposição dos trabalhadores a fatores de risco, poderão diminuir a possibilidade de desenvolvimento de LMERT, como ilustrado na **figura 1.2**.



**Figura 1.2** - Utilização do exo-esqueleto na Indústria

Nos últimos anos, o Grupo *Volkswagen* tem testado a aplicação de diversos exo-esqueletos. Projetos piloto foram realizados por várias marcas do Grupo *Volkswagen*, como por exemplo, a Audi e a Seat. Até ao momento, os exo-esqueletos testados têm como função o suporte dos membros superiores, do tronco ou dos membros inferiores.

A *Volkswagen* Autoeuropa é uma das fábricas de produção automóvel do Grupo *Volkswagen*, localizada na região de Palmela e iniciou a sua produção efetiva em 1995. A *Volkswagen* Autoeuropa pretende testar a aplicação de exo-esqueletos para os membros superiores em estações de trabalho onde se verifica mais de 30% de trabalho realizado acima do nível do ombro, com o objetivo de reduzir os fatores de risco que existem nos postos de trabalho que podem provocar LMERT.

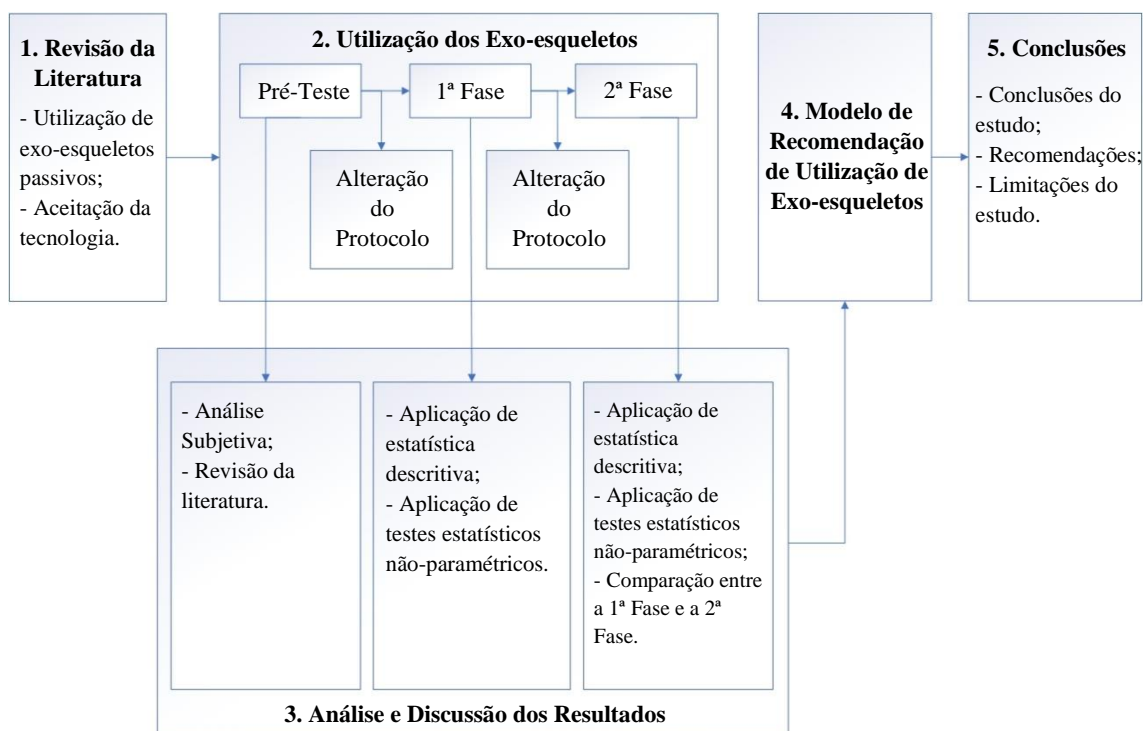
## 1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação é analisar e avaliar a aceitação e intenção de uso pelos trabalhadores de exo-esqueletos passivos para os membros superiores. Através deste estudo, pretende-se identificar:

- Os fatores que influenciam a aceitação e a intenção de uso em cada estação de trabalho, face à diversidade de tarefas;
- As características das estações de trabalho onde poderá ser recomendada a utilização do exo-esqueleto;
- As propostas de melhoria para a modificação do exo-esqueleto passivo para os membros superiores, que correspondam às necessidades inerentes ao trabalho realizado nas estações.

## 1.3 Fases de Trabalho

Perante o objetivo de estudo apresentado, apresenta-se na **figura 1.3** as fases de trabalho.



**Figura 1.3** - Fases de Trabalho

Numa primeira fase do estudo, realizou-se uma breve revisão da literatura disponível, tendo em consideração a relevância dos conceitos sobre a utilização de exo-esqueletos, nomeadamente, a utilização de exo-esqueletos passivos e a utilização de exo-esqueletos na indústria e a aceitação da tecnologia.

Na segunda fase do estudo, para analisar e avaliar a aceitação e intenção de uso procedeu-se a testes em ambiente real de trabalho. Ocorreram três fases de teste, nomeadamente:

- Pré-Teste: tem como objetivo a verificação do Protocolo Inicial com a utilização do exo-esqueleto Skelex Mark 1.3®;
- 1ª Fase: visa a análise e avaliação da aceitação e intenção de uso do exo-esqueleto Skelex Mark 1.3® através do Protocolo Revisto;
- 2ª Fase: tem como objetivo a análise e avaliação da aceitação e intenção de uso do Skelex 360® com o Protocolo Revisto Adaptado e a comparação entre a utilização dos dois exo-esqueletos.

Entre as fases de teste, discutiram-se os respetivos dados obtidos. Sendo que na primeira iteração, *i.e.*, passagem do Pré-Teste para a 1ª Fase resultou na alteração do Protocolo Inicial, que se denominou de Protocolo Revisto. Para proceder às alterações realizou-se uma nova revisão da literatura sobre os temas perceção de esforço, desconforto e usabilidade, com o objetivo de alterar

o protocolo de modo a avaliar não só a satisfação do utilizador, mas também a eficácia da utilização do exo-esqueleto, verificando quais os fatores que influenciam a aceitação e intenção de uso.

Posteriormente, a segunda iteração, *i.e.*, da 1ª Fase para a 2ª Fase, foram implementadas algumas alterações ao Protocolo Revisto por motivos organizacionais e para comparar os resultados das duas fases de testes, passando este a ser designado por Protocolo Revisto Adaptado.

Na terceira fase do estudo efetuou-se a análise e discussão dos resultados obtidos. No Pré-Teste, através dos resultados obtidos e da revisão da literatura identificou-se o que era necessário para proceder às alterações do protocolo. Na 1ª Fase e 2ª Fase, através de estatística descritiva analisaram-se os resultados obtidos permitindo identificar os possíveis fatores que influenciam a aceitação e intenção de uso de um exo-esqueleto. Para identificar quais os fatores significativos aplicaram-se testes estatísticos não-paramétricos. Na 2ª Fase realiza-se a comparação dos resultados da utilização dos exo-esqueletos utilizados em ambas as fases de testes, com o objetivo de identificar se as atualizações nas características do exo-esqueleto alteram a aceitação e intenção de uso dos operadores.

Durante a análise e avaliação dos resultados, são analisadas as opiniões dos operadores, de modo a avaliar a sua satisfação em relação à utilização do exo-esqueleto. Esta avaliação permitiu, por exemplo, compreender os resultados obtidos nos questionários e verificar aspetos a melhorar nos exo-esqueletos testados, na 1ª Fase e 2ª Fase.

Numa quarta fase do estudo foi proposto um Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos. A elaboração do modelo é baseada numa matriz de prioridades em que os quadrantes representam a recomendação ou não recomendação da utilização do exo-esqueleto, segundo o tipo de tarefas realizadas no posto de trabalho.

De seguida, apresentam-se as conclusões, recomendações e limitações do estudo.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas na revisão da literatura e os anexos das características dos exo-esqueletos e dos questionários aplicados.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação está estruturada em 5 capítulos, cuja descrição é a seguinte:

### **Capítulo 1 – Introdução**

No primeiro capítulo são referidos o enquadramento do estudo, os objetivos a alcançar, a metodologia seguida para o desenvolvimento do trabalho e a estrutura da dissertação.

### **Capítulo 2 – Exo-esqueletos e avaliação da sua utilização – Enquadramento teórico**

No segundo capítulo é feito o enquadramento teórico dos temas abordados ao longo do estudo, como por exemplo, a utilização de exo-esqueletos a aceitação da tecnologia, desconforto e a

percepção de esforço. No primeiro tema são fundamentados os conceitos da utilização de exo-esqueletos com base em estudos relacionados com a temática. A aceitação da tecnologia é um tema que envolve vários conceitos, nomeadamente, a usabilidade, a *User Experience*, o modelo de aceitação da tecnologia e questionários de usabilidade, aplicados nos métodos de avaliação. Por fim são fundamentados os conceitos sobre desconforto e percepção de esforço, aplicados nos métodos de avaliação.

### **Capítulo 3 – Metodologia**

Neste capítulo são descritas as fases para a realização do estudo, respetivamente, o Pré-Teste, a alteração do Protocolo Inicial, a 1ª Fase e a 2ª Fase. São descritos os exo-esqueletos utilizados, as características dos protocolos aplicados e os métodos aplicados para a avaliação dos resultados.

### **Capítulo 4 – Análise e Discussão dos Resultados**

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas diferentes fases de estudo. No Pré-Teste os resultados obtidos nos questionários permitem a realização de alterações no protocolo aplicado. Nas restantes fases de teste avalia-se a aceitação e intenção de uso. Adicionalmente, na 2ª Fase procede-se à comparação dos resultados obtidos em ambas as fases de teste. Por fim, é proposto um modelo de recomendação de utilização de exo-esqueletos para os membros superiores.

### **Capítulo 5 – Conclusões**

No último capítulo são apresentadas as conclusões e limitações referentes ao estudo e são mencionadas recomendações para estudos futuros.



## 2 EXO-ESQUELETOS E AVALIAÇÃO DA SUA UTILIZAÇÃO – ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os temas relevantes para o desenvolvimento do estudo, respetivamente a utilização de exo-esqueletos, a aceitação da tecnologia, o desconforto e a percepção de esforço.

### 2.1 Exo-esqueletos

O exo-esqueleto é um sistema de assistência pessoal que funciona em conjunto com o utilizador e tem o potencial de melhorar as suas capacidades físicas na realização de tarefas, através da modificação de forças internas ou externas que atuam no corpo (Peters & Wischniewski, 2019).

A estrutura externa mecânica possibilita o aumento da força do utilizador, no caso dos exo-esqueletos ativos, ou a diminuição do impacto dos movimentos no corpo do utilizador, no caso dos exo-esqueletos passivos (Amandels et al., 2019), melhorando o desempenho do utilizador (Kim et al., 2018 (b)). A estrutura dos exo-esqueletos pode incluir componentes rígidos, tais como alumínio ou fibra de carbono, componentes têxteis ou de cabos macios, ou a combinação de ambos (Mudie et al., 2018).

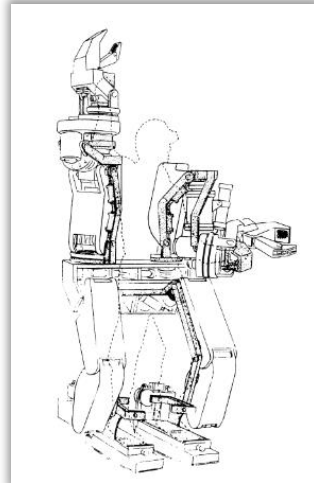
Os exo-esqueletos são controlados por duas funções principais, a compensação de atrito e a compensação do peso (Sylla et al., 2014):

- compensação de atrito (*friction compensation*): controla os movimentos das articulações do exo-esqueleto, evitando que se realizem movimentos não naturais que provoquem desconforto no utilizador (Ge et al., 2001).
- compensação do peso (*weight compensation*): equilibra o efeito da gravidade, de modo a que o utilizador não tenha de realizar esforço para manter o exo-esqueleto numa determinada posição.

O conceito de exo-esqueletos surgiu em 1890, tendo sido patenteado o Yagn, um equipamento semelhante a um exo-esqueleto para caminhar e correr (Ali, 2014).

Posteriormente, em 1965, o primeiro protótipo de um exo-esqueleto motorizado, o Hardiman I, foi criado pela *General Electric Company* juntamente com a Marinha, nos EUA (Ali, 2014; Makinson, 1971).

O Hardiman I foi desenvolvido para aumentar a força e a resistência física do utilizador. As aplicações específicas para o Hardiman I incluem, por exemplo, cargas e descargas de veículos, empilhamento e movimentação de carga (Makinson, 1971). A **figura 2.1** ilustra o protótipo do Hardiman I.



**Figura 2.1** - Protótipo do Hardiman I  
Fonte: (Makinson, 1971)

Entre 1960 e 1970, no Instituto *Mihailo Pupin*, na Sérvia, Miomir Vukobratovic e os seus parceiros realizaram um estudo pioneiro com exo-esqueletos. Foi um dos estudos mais extensos até hoje, começando com o desenvolvimento do “andador cinemático” para movimentar a anca e os joelhos. Em 1970 desenvolveram o “exo-esqueleto parcialmente ativo” para realizar flexão e extensão da anca, joelhos e tornozelos. Posteriormente foi desenvolvido o “exo-esqueleto completo”, que envolvia suporte do tronco, com o qual se realizou mais de 100 ensaios clínicos a pacientes com diferentes graus de paralisia. Com a utilização do “exo-esqueleto completo”, vários destes pacientes conseguiram caminhar com apoio de muletas (Ali, 2014). A **figura 2.2** apresenta o “exo-esqueleto completo” denominado de *Mihailo Pupin Exoskeleton*.



**Figura 2.2** - *Mihailo Pupin Exoskeleton*  
Fonte: (Ali, 2014)



Os exo-esqueletos foram originalmente desenvolvidos para fins militares e clínicos. Contudo, nos últimos anos os exo-esqueletos começaram a ter visibilidade na indústria (Spada et al., 2017) com o objetivo de manter ou proteger a saúde física dos trabalhadores (Peters & Wischniewski, 2019).

### 2.1.1 Classificação de Exo-esqueletos

Os exo-esqueletos podem ser classificados em relação à sua fonte de energia, regiões corporais e as suas aplicações, conforme se apresenta na **tabela 2.1**:

**Tabela 2.1** - Classificação de exo-esqueletos

	Fonte de Energia	Região Corporal	Aplicação
<b>Classificação de exo-esqueletos</b>	Ativos	Membros Superiores	Reabilitação
	Passivos	Tronco	Aumento da Capacidade Humana
		Membros Inferiores	Suporte Funcional
		Corpo Inteiro	

Os exo-esqueletos podem ser classificados segundo as suas fontes de energia:

- **Ativos:** Os sistemas ativos requerem uma fonte de energia e envolvem um ou mais atuadores (Huysamen et al., 2018; Mudie et al., 2018). Os atuadores suportam os movimentos humanos e geralmente consistem em motores elétricos, mas poderão ser hidráulicos ou pneumáticos. Com esse suporte, eles fornecem força adicional e, assim, aumentam o desempenho do utilizador (Peters & Wischniewski, 2019). Os principais benefícios do exo-esqueleto são a combinação entre a flexibilidade humana e a capacidade do exo-esqueleto, sem a necessidade de programá-lo. Devido às suas características, por exemplo, peso, controle, conforto, flexibilidade, etc., não se tornam adequados para uso em ambientes industriais. Consequentemente, as soluções do exo-esqueleto ativo têm potencial para aumentar a capacidade dos trabalhadores, mas devido às exigências do ambiente industrial e à atual falta de normas, a sua introdução provavelmente só ocorrerá no futuro (Spada et al., 2017).
- **Passivos:** Os sistemas passivos não têm energia externa e são utilizados como suporte dos músculos agonistas de regiões corporais específicas (Mudie et al., 2018). Os exo-esqueletos passivos fornecem compensação da gravidade através de molas, amortecedores ou outros membros elásticos para armazenar e libertar energia, para dar suporte ao utilizador ao realizar movimentos (Huysamen et al., 2018; Peters & Wischniewski, 2019). A energia proveniente do exo-esqueleto é gerada exclusivamente pelos movimentos do utilizador e para proteger determinadas regiões corporais, redistribuindo as forças para outras regiões corporais. A mudança de desempenho do utilizador resulta, não da força física adicional, mas da capacidade de se manter em posições exigentes por mais tempo (Peters & Wischniewski, 2019). Apesar de serem

potencialmente menos eficazes, são mais leves e mais fáceis de introduzir, por exemplo, numa linha de montagem, comparativamente aos exo-esqueletos ativos (Spada et al., 2017).

Os exo-esqueletos podem ser classificados segundo a região corporal a que vão dar suporte:

- **Membros superiores:** os exo-esqueletos para os membros superiores são utilizados, geralmente, na realização de tarefas acima do nível do ombro e em posições estáticas. São constituídos por estruturas mecânicas para redistribuir as forças corporais aplicadas nos membros superiores. Nesse caso, a redistribuição de forças é dirigida para outras regiões do corpo, como por exemplo a articulação da anca (Peters & Wischniewski, 2019).
- **Tronco:** os exo-esqueletos para o tronco são utilizados maioritariamente em movimentação manual de cargas. Tal como os exo-esqueletos para os membros superiores, os do tronco são constituídos por estruturas mecânicas e a redistribuição de forças é, geralmente, dirigida para os membros inferiores (Peters & Wischniewski, 2019).
- **Membros Inferiores:** os exo-esqueletos para os membros inferiores são indicados em situações onde o utilizador tem de estar em posições baixas, ou estar constantemente a sentar e a levantar-se. São capazes de transferir forças para o solo e, assim, reduzir a carga no sistema músculo-esquelético (Peters & Wischniewski, 2019).
- **Corpo Inteiro:** os exo-esqueletos de corpo inteiro suportam a parte superior e inferior do corpo em simultâneo (Peters & Wischniewski, 2019).

Os exo-esqueletos podem ainda ser classificados segundo o objetivo das suas aplicações em:

- **Reabilitação:** em medicina, o exo-esqueleto é utilizado, por exemplo, na reabilitação de pacientes em casos de deficiência motora. Entre as tecnologias mais promissoras, consideram-se que as terapias com exo-esqueletos são benéficas para a reabilitação do paciente, exigindo um tratamento repetitivo para a redução de movimentos perdidos. Os exo-esqueletos têm como objetivo auxiliar os tratamentos, de modo a serem mais eficazes e estáveis em comparação com os tratamentos tradicionais de reabilitação efetuados (Copaci et al., 2019; Huysamen et al., 2018; Sylla et al., 2014).
- **Aumento da capacidade humana:** no contexto militar, os exo-esqueletos são desenvolvidos para, em combate, aumentar o desempenho do soldado, protegê-lo, aumentar a força e a capacidade de suportar grandes cargas durante longas distâncias (Huysamen et al., 2018; Sylla et al., 2014). Os militares realizam movimentações manuais de cargas com pesos excessivos e frequentemente em terrenos difíceis e complexos. Em resposta a estas tarefas de cargas excessivas, há uma diminuição do tempo até atingir a fadiga e um aumento da probabilidade de desenvolvimento de lesões músculo-

esqueléticas. Foram desenvolvidos exo-esqueletos que reduzem o consumo metabólico até 15% ou potencialmente diminuem o risco de desenvolvimento de lesões, durante a realização de tarefas militares comuns, como por exemplo, caminhar e transportar carga (Mudie et al., 2018).

- **Suporte Funcional:** no contexto da aplicação industrial, o exo-esqueleto pode ser utilizado para manter ou proteger a saúde dos trabalhadores (Peters & Wischniewski, 2019). Em situações nas quais o potencial dos controlos de engenharia e dos controlos administrativos são limitados, o exo-esqueleto pode ser considerado um sistema de assistência ergonómica para apoiar os trabalhadores na produção e na logística, com o objetivo de reduzir a carga de esforço físico. Em situações de mudança demográfica, o exo-esqueleto também pode auxiliar os trabalhadores com limitações físicas nos casos de inclusão ou processos de reinserção ocupacional (Hensel & Keil, 2019).

### 2.1.2 Utilização de Exo-esqueletos nas Organizações Industriais

Nos últimos anos, os exo-esqueleto tornaram-se do interesse do setor industrial. O exo-esqueleto permite uma nova abordagem para melhorar a produtividade, a qualidade do trabalho e a eficácia da realização das atividades de trabalho (Voilqué et al., 2019).

Apesar de menos eficazes, os exo-esqueletos passivos, em relação aos ativos, são mais fáceis de introduzir nas linhas de montagem. Atualmente vários exo-esqueletos passivos estão a ser desenvolvidos especificamente para dar suporte aos trabalhadores no contexto industrial (Spada et al., 2017).

Para introduzir a utilização de exo-esqueletos no contexto industrial, é necessário avaliar a eficácia do exo-esqueleto num ambiente controlado, através da avaliação da usabilidade pelos trabalhadores durante tarefas fisicamente exigentes (Amandels et al., 2019). Os efeitos a longo prazo dos exo-esqueletos no sistema músculo-esquelético são desconhecidos e são necessários estudos que avaliem aspetos fisiológicos, a aceitação e efeitos psicossociais e aspetos biomecânicos (Peters & Wischniewski, 2019).

As características de diferentes estudos realizados para avaliar a utilização de exo-esqueletos no contexto industrial, descrevem-se na **tabela 2.2**.

**Tabela 2.2** - Estudos realizados para avaliar a utilização de exo-esqueletos

Características do estudo	Exo-esqueletos		
	Laevo (Hensel & Keil, 2019)	Levitare (Spada et al., 2017)	ABLE (Sylla et al., 2014)
Ambiente de estudo	Postos de Trabalho	Laboratório	Laboratório
Tipo de exo-esqueleto	Tronco	Membros Superiores	Membros Superiores
Objetivo	Avaliar a aceitação da utilização de um exo-esqueleto	Avaliar a eficácia e a aceitação da utilização de um exo-esqueleto	Avaliar o desempenho do exo-esqueleto
Avaliação Objetiva	Não aplicada.	Tempo necessário para realizar 2 tarefas.	Parâmetros biomecânicos; Duração da realização da tarefa.
Avaliação Subjetiva	Aplicação de um questionário (desconforto, usabilidade e intenção de uso).	Entrevistas e Grupo final (apoio prestado, assistência na tarefa, desconforto percepção de esforço, nível de intensidade da atividade); Aplicação de questionários (usabilidade e aceitação do utilizador).	Não aplicada.

### Exo-esqueleto Laevo

Segundo o estudo conduzido por Hensel e Keil (2019), na AUDI AG, cerca de 43% da carga de trabalho músculo-esquelética afeta a região lombar, devido à realização de tarefas de movimentação manual de cargas e de posturas estáticas com flexão do tronco. Neste contexto, a utilização de um exo-esqueleto de suporte para o tronco pode ajudar a reduzir a carga de trabalho na região lombar e dar suporte aos trabalhadores na realização das suas tarefas.

O objetivo deste estudo é avaliar o benefício ergonómico do exo-esqueleto de suporte para o tronco, Laevo, através da avaliação do alívio na região lombar em duas situações de trabalho: realização de flexão do tronco em posturas estáticas e movimentação manual de cargas. Além da eficácia em relação ao alívio da carga de trabalho, para determinar os fatores de sucesso da implementação do exo-esqueleto avaliou-se a aceitação do utilizador através da influência do desconforto e da usabilidade do exo-esqueleto.

No contexto da utilização do exo-esqueleto foram selecionados oito postos de trabalho. Para avaliar o suporte do exo-esqueleto em situações de realização de posturas de flexão estáticas, selecionou-se três postos de trabalho na área de montagem, onde é realizado uma elevada carga de trabalho na região lombar e dois postos de trabalho na área de estampagem de peças, onde os trabalhadores ao realizarem as tarefas de colocação de peças estampadas em contentares, ficam

fletidos em posições estáticas. Para avaliar o suporte do exo-esqueleto em situações de movimento manual de cargas foram selecionados três postos de trabalho no departamento de logística.

Como ferramenta de avaliação foi desenvolvido um questionário para avaliar a utilização do exo-esqueleto. As dimensões avaliadas foram o desconforto, a usabilidade do exo-esqueleto e a intenção de uso.

Segundo Hensel e Keil (2019), verificou-se que a usabilidade e o desconforto determinam a aceitação do utilizador. O mínimo desconforto pode prejudicar a aceitação do utilizador em relação à implementação do exo-esqueleto no posto de trabalho, mesmo que o utilizador reconheça o suporte dado.

Neste estudo concluiu-se que os exo-esqueletos têm potencial para reduzir consideravelmente os fatores subjacentes à carga de trabalho associados ao desenvolvimento de LMERT. Têm potencial para beneficiar o bem-estar do trabalhador e a produtividade dos processos de trabalho.

### **Exo-esqueleto Levitate**

Um estudo conduzido por Spada e colaboradores (2017) teve como objetivo investigar a eficácia e a aceitação da utilização de um exo-esqueleto passivo para os membros superiores, o Levitate.

Os testes foram realizados no mesmo dia para cada participante. Foram realizados três testes diferentes, envolvendo tarefas estáticas e dinâmicas, sem e com o exo-esqueleto: (1) tarefa estática, (2) tarefa de movimentação manual de cargas e (3) tarefa de precisão.

Durante os testes avaliou-se o tempo necessário para a realização das tarefas e para avaliar o desconforto, a percepção de esforço, a usabilidade do exo-esqueleto e a aceitação do utilizador, foram realizadas entrevistas e aplicados dois questionários, o questionário *Technology Acceptance Model 2* e um questionário de usabilidade.

Concluiu-se que os participantes aumentaram, em média, o seu desempenho em 30% e reportaram uma diminuição da fadiga ao utilizarem o exo-esqueleto. Os participantes consideraram a utilização do exo-esqueleto útil, particularmente na tarefa de precisão. Adicionalmente, descreveram qualidades como fácil de usar, inovadora, fácil de aprender, eficaz, eficiente e útil, mas afirmaram que uso do exo-esqueleto deveria ser voluntário.

Spada e colaboradores (2017) consideram que antes da implementação de exo-esqueletos nos ambientes reais de trabalho, são necessárias mais informações sobre a aceitação do utilizador em relação ao exo-esqueleto e ao uso a longo prazo. A utilização do exo-esqueleto no ambiente de trabalho pode revelar obstáculos à aceitação do trabalhador que não são evidentes num ambiente controlado de laboratório.

### **Exo-esqueleto ABLE**

Um estudo conduzido por Sylla e colaboradores (2014), teve como objetivo avaliar o desempenho de um exo-esqueleto, considerando-o como uma potencial solução para melhorar a ergonomia das estações de trabalho, de modo a evitar o desenvolvimento de LMERT.

Para a realização do estudo utilizou-se um exo-esqueleto para o suporte dos membros superiores, o ABLE. O objetivo do estudo é determinar o desempenho ergonômico do exo-esqueleto, através da execução de uma tarefa (de aparafusar, com e sem a utilização do exo-esqueleto) e propor uma metodologia quantitativa para avaliar o nível de assistência que o equipamento proporciona aos trabalhadores.

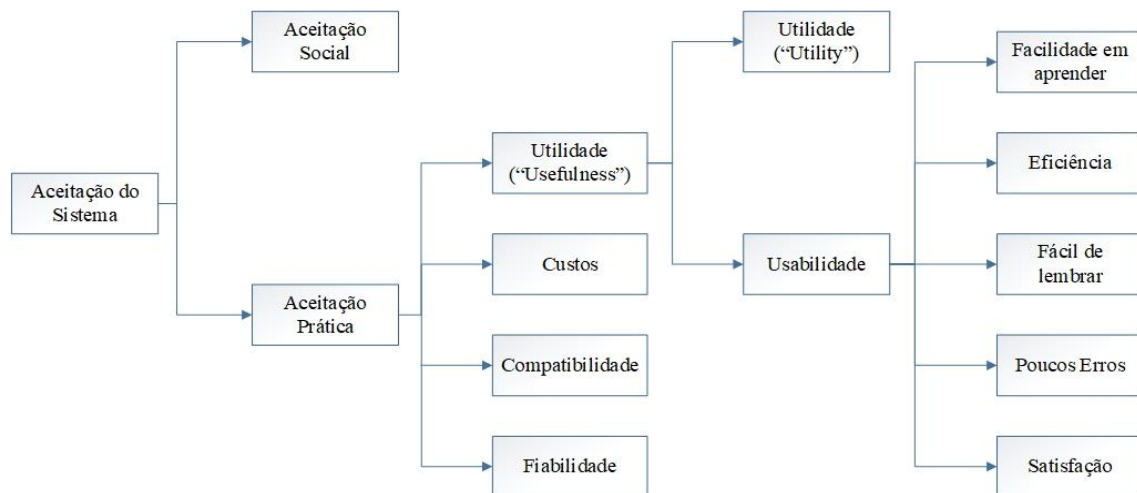
Na realização da tarefa analisou-se os ângulos e torques das articulações do exo-esqueleto, as forças de ação/ reação entre os pés e o solo e a duração da realização da tarefa. Através da avaliação dos graus de liberdade do funcionamento do exo-esqueleto, verifica-se quais são os eixos solicitados durante a realização das tarefas.

O estudo definiu o desempenho do exo-esqueleto como um conjunto de quantidades cinemáticas e cinéticas biomecânicas medidas e estimadas. A abordagem permitiu realizar análises de pós-processamento, após a captura de movimento num ambiente real, e propenso a ser utilizado com qualquer equipamento colaborativo para avaliar os parâmetros biomecânicos. A PSA Peugeot Citroen pretende continuar a realizar estudos sobre a utilização de exo-esqueletos para avaliar o número de graus de liberdade necessários no exo-esqueleto para dar suporte aos movimentos dos trabalhadores.

## **2.2 Aceitação da tecnologia**

A aceitação é definida como um antagonismo de rejeição e significa a decisão positiva de utilizar uma inovação (Taherdoost, 2018). Com o desenvolvimento das tecnologias, a rapidez com que os consumidores estão a aceitar essas tecnologias depende de vários fatores, como por exemplo, disponibilidade da tecnologia, conveniência, necessidade dos consumidores e segurança (Lai, 2017). Segundo Taherdoost (2018), é importante ter em consideração a aceitação e a confiança do utilizador no desenvolvimento de uma nova tecnologia. Vários estudos foram realizados no âmbito de avaliar quais os fatores que influenciam a aceitação da tecnologia, como por exemplo, na utilização de exo-esqueletos no setor industrial (Hensel & Keil, 2019; Spada et al., 2017), na utilização de aplicações de telemóveis (Askool et al., 2019) e na utilização de sistemas de computadores (Davis et al., 1989).

Nielsen (1993) criou um modelo de aceitação do sistema, apresentado na **figura 2.3**.



**Figura 2.3** - Aceitação do sistema  
Adaptado de: (Nielsen, 1993)

A aceitação do sistema envolve que o sistema seja socialmente aceitável e aceitável na sua prática. A aceitação prática considera aspetos tais como custos, compatibilidade com sistemas existentes, fiabilidade e a utilidade (*“Usefulness”*). Através da utilidade é verificado se o sistema pode ser usado para atingir o objetivo desejado e é novamente dividido em duas categorias, utilidade (*“Utility”*) e usabilidade. Neste caso, a utilidade é a questão de saber se a funcionalidade do sistema pode fazer o que é necessário, e usabilidade é a questão de quão bem os utilizadores podem usar essa funcionalidade (Nielsen, 1993).

### 2.2.1 Usabilidade

Segundo as normas ISO 9241-11, a usabilidade é a medida pela qual um produto pode ser usado por utilizadores específicos para atingir metas específicas com eficácia, eficiência e satisfação num contexto específico de utilização:

- Eficácia: precisão e integridade com as quais os utilizadores alcançam objetivos específicos;
- Eficiência: recursos utilizados em relação aos resultados alcançados;
- Satisfação: respostas físicas, cognitivas e emocionais do utilizador resultantes do uso de um sistema, produto ou serviço atendendo às necessidades e expectativas do utilizador.

Segundo Nielsen (1993), a usabilidade aplica-se a todos os aspetos de um sistema com o qual uma pessoa pode interagir, incluindo procedimentos de instalação e manutenção. É importante perceber que a usabilidade não é uma propriedade única e unidimensional. A usabilidade tem vários componentes e é tradicionalmente associada aos cinco atributos seguintes:

- Facilidade em aprender: o sistema deve ser fácil de aprender para que o utilizador possa rapidamente começar a utilizá-lo.
- Eficiência: o sistema deve ser eficiente, para que, uma vez que o utilizar tenha aprendido a utilizá-lo, seja possível alcançar um alto nível de produtividade.
- Fácil de lembrar: o sistema deve ser fácil de lembrar, para que o utilizador seja capaz de retornar ao sistema após algum tempo sem usá-lo, isto é, sem ter de aprender tudo de novo.
- Erros: o sistema deve ter uma taxa de erros baixa, de modo que os utilizadores cometam poucos erros durante o seu uso e, caso ocorram erros, possam facilmente corrigi-los. Além disso, não devem ocorrer erros graves.
- Satisfação: o sistema deve ser agradável de usar, para que os utilizadores fiquem subjetivamente satisfeitos durante a sua utilização.

O método de avaliação de usabilidade é um procedimento composto por atividades bem definidas para recolha de dados relacionados com a interação do utilizador final com um produto ou como um recurso específico deste produto contribui para alcançar um certo grau de usabilidade. As avaliações de usabilidade podem ser classificadas em duas categorias (Quiñones et al., 2018):

- Verificação da usabilidade: são avaliações feitas por especialistas, com base nos seus próprios julgamentos, sem a participação de utilizadores.
- Testes de usabilidade: são testes que envolvem utilizadores reais.

Nas avaliações de usabilidade são utilizadas métricas, para medir a usabilidade através da eficácia, da eficiência e da satisfação, que são geralmente medidas em diferentes escalas. Como por exemplo, na realização de uma tarefa a eficácia de um sistema pode ser medida através do número de erros cometidos, a eficiência através do tempo médio para concluir a tarefa e a satisfação através de pontuações (Sauro & Kindlund, 2005).

### 2.2.2 *User Experience*

A *User Experience* (UX) refere-se a todos os aspetos da interação de um utilizador com um sistema, produto ou serviço (Tullis & Albert, 2008).

De acordo com as normas ISO 9241-210, a UX é definida como as perceções e respostas do utilizador resultantes do uso e/ou uso antecipado de um produto, sistema ou serviço. A UX inclui todos os tipos de reações físicas, emocionais e cognitivas, como por exemplo: emoções, crenças, preferências, perceções, respostas físicas e psicológicas, comportamentos e objetivos de todos os utilizadores, que ocorrem antes, durante e depois da utilização de sistema ou produto. Enquanto



a usabilidade é considerada a capacidade de o utilizador usar o sistema ou produto para realizar uma tarefa com sucesso, a UX avalia toda a experiência do utilizador (Tullis & Albert, 2008).

Segundo Quiñones e colaboradores (2018), os métodos de avaliação UX focam-se em determinar como os utilizadores se sentem em relação ao sistema. Os métodos de avaliação UX podem ser classificados em quatro categorias: (1) estudos num sistema real; (2) estudos laboratoriais; (3) estudos online; (4) questionários e escalas.

Os questionários que avaliam a UX têm em consideração a complexidade da experiência do utilizador (Hinderks et al., 2019). Os dados obtidos através dos questionários fornecem a informação mais importante relativamente à perceção do utilizador sobre o sistema, e sobre a interação do utilizador com o sistema (Tullis & Albert, 2008).

Os questionários têm a vantagem de serem ferramentas de baixo custo, não exigem equipamentos de teste e os seus resultados refletem as opiniões dos utilizadores, para além de que fornecem informações úteis sobre os pontos fortes e fracos de um produto ou serviço (Martins et al., 2015).

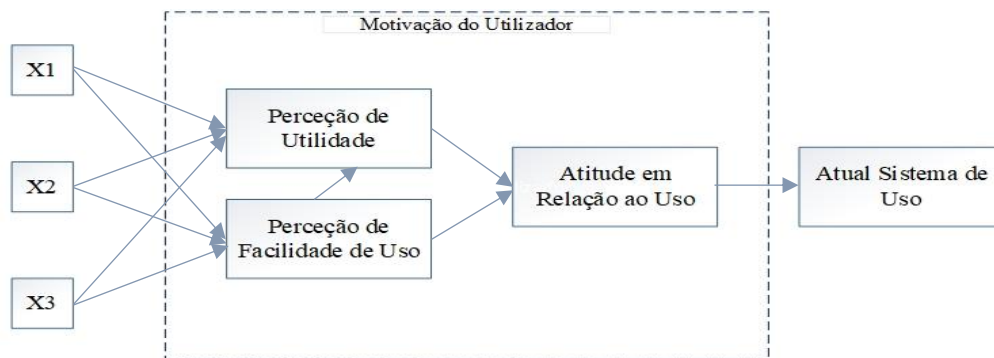
Os questionários devem ser anónimos e os utilizadores deverão responder individualmente para evitar que tenham a tendência de responder às questões acreditando que vão fazê-los parecer melhor aos olhos do avaliador ou de modo a não o dececionar. Essa tendência é designada por *Social Desirability Bias* (Nancarrow & Brace, 2000, cit by Tullis & Albert, 2008).

### 2.2.3 Modelo de Aceitação da Tecnologia

Os modelos de aceitação da tecnologia permitem a compreensão da aceitação do utilizador a novas tecnologias e a sua intenção de uso (Lai, 2017) relacionando o uso pretendido pelos utilizadores com o uso real (Shore et al., 2018).

Davis (1985) desenvolveu o *Technology Acceptance Model* (TAM) para explicar a aceitação de um utilizador por um sistema. O conceito do TAM foi baseado no modelo teórico *Theory of Reasoned Action* (TRA) (Askool et al., 2019). O TRA fundamenta o conceito de que a convicção influencia as atitudes que levam à intenção, e por fim, ao comportamento. O TAM usa essa teoria para determinar o comportamento de um utilizador em relação à aceitação da tecnologia (Priyanka & Kumar, 2013).

O objetivo do modelo TAM é identificar os fatores externos X1, X2 e X3 que determinam a motivação do utilizador, que é influenciada pela percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e atitude relativamente à utilização de um sistema (Askool et al., 2019; Lai, 2017; Priyanka & Kumar, 2013), como apresentado na **figura 2.4**.



**Figura 2.4** - Technology Acceptance Model  
Adaptado de: (Davis, 1985)

A percepção de utilidade é o grau em que o utilizador acredita que a aquisição de uma nova tecnologia aumentará a sua eficácia e desempenho numa determinada ação (Askool et al., 2019; Lai, 2017). A percepção de utilidade relaciona-se com a atitude em relação ao uso, que influencia a intenção de uso (Askool et al., 2019).

A percepção de facilidade de uso é o grau em que o utilizador espera atingir os seus objetivos sem esforço e como um sistema pode ser considerado fácil de usar, influenciando a percepção de utilidade e a atitude em relação ao uso (Askool et al., 2019; Lai, 2017).

A atitude é considerada uma estrutura multidimensional, constituído por fatores cognitivos, afetivos e comportamentais. A atitude do utilizador pode influenciar a intenção de uso (Askool et al., 2019).

#### 2.2.4 Questionários de Usabilidade

A avaliação da usabilidade de um produto ou sistema, com o objetivo de melhorar a experiência do utilizador, é um desafio para muitas organizações. Um método comum e económico para avaliar a usabilidade é a utilização de metodologias baseadas em questionários (Finstad, 2010), como por exemplo, o *System Usability Scale*, *Usability Metric for User Experience* e *Technology Usage Inventory* que a seguir se apresentam.

##### ***System Usability Scale***

O *System Usability Scale* (SUS) é um questionário desenvolvido por John Brooke (1986) e tem como objetivo permitir ao utilizador avaliar a usabilidade do produto ou serviço de forma fácil e rápida, sendo o seu principal contributo fornecer uma única pontuação de referência sobre a visão do utilizador (Martins et al., 2015).

O SUS está disponível em duas versões, a versão *standard* e a versão positiva. Na versão *standard* os itens ímpares são afirmações de conotação positiva, enquanto os itens pares são afirmações de conotação negativa. Esta estrutura implica que a discordância e concordância sejam selecionadas com cuidado, evitando respostas pouco refletidas. Ou seja, ao alternar as afirmações positivas e negativas, a pessoa deve ler cada uma das afirmações, sendo condicionada a pensar se concorda ou discorda (Brooke, 1996). Na versão positiva desenvolvida por Sauro e Lewis (2011), os itens são afirmações positivas, considerando que a sua utilização tem vantagens relativamente à utilização da versão *standard*. A versão positiva permite reduzir erros de codificação (por exemplo, ao analisar os resultados, os especialistas podem se esquecer de reverter as escalas), de interpretação e leitura da escala (por exemplo, a pessoa concordar acidentalmente em afirmações de cariz negativo) (Lewis et al., 2013; Sauro & Lewis, 2011).

A **tabela 2.3** apresenta os itens do SUS da versão *standard*, versão positiva, e versão portuguesa correspondente à *standard*, traduzida por Martins e colaboradores (2015).

**Tabela 2.3** - SUS: versão *standard* vs. versão positiva vs. versão *standard* traduzida para português

Adaptado de: (Martins et al., 2015; Sauro & Lewis, 2011)

<b>Versão Standard</b>	<b>Versão Positiva</b>	<b>Versão Portuguesa</b>
I think that I would like to use this system frequently.	I think that I would like to use this system frequently.	Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência.
I found the system unnecessarily complex.	I found the system to be simple.	Considerarei o produto mais complexo do que necessário.
I thought the system was easy to use.	I thought the system was easy to use.	Achei o produto fácil de utilizar.
I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.	I think I could use the system without the support of a technical person.	Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto.
I found the various functions in this system were well integrated.	I found the various functions in this system were well integrated.	Considerarei que as várias funcionalidades deste produto estavam bem integradas.
I thought there was too much inconsistency in this system.	I thought there was a lot of consistency in the system.	Achei que este produto tinha muitas inconsistências.
I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.	I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.	Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este produto.
I found the system very cumbersome to use.	I found the system very intuitive.	Considerarei o produto muito complicado de utilizar.
I felt very confident using the system.	I felt very confident using the system.	Senti-me muito confiante a utilizar este produto.
I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.	I could use the system without having to learn anything.	Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto.

### ***Usability Metric for User Experience***

O *Usability Metric for User Experience* (UMUX) desenvolvido por Finstad (2010) é um questionário de usabilidade semelhante ao *System Usability Scale* (Lewis et al., 2013). A sua estrutura é baseada na definição de usabilidade da ISO 9241-11 (Finstad, 2010). O UMUX é composto por quatro itens, apresentados na **tabela 2.4**.

**Tabela 2.4** - Itens do UMUX

Fonte: (Finstad, 2010)

UMUX	
1	This system's capabilities meet my requirements.
2	Using this system is a frustrating experience.
3	This system is easy to use.
4	I have to spend too much time correcting things with this system.

Lewis e colaboradores (2013) correlacionaram os itens do SUS com os itens do UMUX. Adicionalmente, verificou-se a existência de potenciais variantes do UMUX e há duas que se destacam. Uma variante seria retirar o item 4, devido à sua correlação relativamente baixa com o SUS, deixando três itens. A segunda variante seria retirar os itens de conotação negativa. Lewis e colaboradores (2013) seguiram a segunda variante composta pelos itens de conotação positiva. As principais razões para essa escolha foram o resultado de um instrumento simples e a relação através do conteúdo do *Technology Acceptance Model*. No UMUX o item 1 está associado à percepção de utilidade e o item 3 à percepção de facilidade de uso (Lewis et al., 2013).

Ao proceder às alterações do UMUX, resultou no questionário UMUX-LITE, apresentado na **tabela 2.5**:

**Tabela 2.5** - Itens do UMUX-LITE

Fonte: (Lewis et al., 2013)

UMUX-LITE	
1	This system's capabilities meet my requirements.
3	This system is easy to use.

### ***Technology Usage Inventory***

O *Technology Usage Inventory* (TUI) é um questionário que foi desenvolvido com o objetivo avaliar a usabilidade de novas tecnologias com utilizadores idosos, de modo a que as tecnologias avaliadas possam corresponder às necessidades e exigências dos utilizadores de forma eficiente (Kothgassner et al., 2013).

O TUI tem em consideração fatores específicos da tecnologia (como por exemplo, facilidade de uso) e psicológicos (como por exemplo, interesse, curiosidade), efetuando uma análise e avaliação

mais abrangente sobre a intenção de uso. No entanto, a avaliação desses fatores envolve componentes de acessibilidade, usabilidade e aceitação do utilizador (Kothgassner et al., 2013).

No desenvolvimento do TUI, Kothgassner e colaboradores (2013) basearam-se no modelo TAM devido ao conceito de aceitação de tecnologia. O objetivo no desenvolvimento do TUI foi conceber um questionário que integre agentes motivadores psicológicos para a aceitação e intenção de uso da tecnologia, que permita a previsão da utilização real, independentemente do tipo de tecnologia analisada (Kothgassner et al., 2013).

Através do TUI analisam-se fatores psicológicos e tecnológicos específicos que contribuem para o uso real de uma tecnologia. O questionário contém um total de 30 itens divididos em 8 escalas caracterizadas da seguinte forma: (1) curiosidade, (2) timidez, (3) interesse, (4) facilidade de uso, (5) imersão, (6) utilidade, (7) ceticismo e (8) acessibilidade. Adicionalmente, o TUI inclui 3 itens de avaliação da intenção de uso (Kothgassner et al., 2013), apresentadas na **tabela 2.6**:

**Tabela 2.6** - TUI: Itens de avaliação da intenção de uso

Adaptado de: (Kothgassner et al., 2013)

<b>TUI: Intenção de Uso</b>	
<b>1</b>	Usaria essa tecnologia?
<b>2</b>	Compraria essa tecnologia?
<b>3</b>	Gostaria de ter acesso a essa tecnologia?

## 2.3 Desconforto

No contexto ergonómico, o conceito de desconforto está geralmente associado à dor e sensação de peso que surge quando o bem-estar é afetado negativamente (Menegon et al., 2019). Ao utilizar um sistema ou produto, o desconforto pode influenciar a motivação de um utilizador, sendo um dos parâmetros utilizados para avaliar a usabilidade desse sistema ou produto (Amandels et al., 2019).

Segundo Vink e Hallbeck (2012) o conforto é o estado agradável ou sensação de relaxamento de uma pessoa em relação ao seu ambiente e o desconforto é considerado um estado desagradável do corpo humano em relação ao seu ambiente físico. O conforto e o desconforto podem ser definidos do mesmo modo, mas envolvem características específicas diferentes, tais como (Vink & Hallbeck, 2012):

- Input sensorial: O uso de diferentes canais sensoriais pode influenciar o conforto, como por exemplo, a visão e o tato. Outros fatores, como por exemplo a atenção pessoal, também podem influenciar o conforto.

- Atividades: as características do contexto ambiental durante a realização de atividades podem influenciar o conforto. O contexto e a especificidade das atividades são fatores importantes quando se analisa e avalia o conforto.
- Diferentes regiões corporais: ao avaliar o conforto e desconforto de um sistema ou produto é importante compreender que a percepção de conforto ou desconforto pode ser distinta nas diferentes regiões corporais.
- Contornos: o efeito do contorno de um sistema ou produto envolve as características relacionadas ao contexto físico. Os contornos de sistemas ou produtos que estão em contacto com o corpo humano, influenciam o conforto.
- Esforço físico: o desconforto está relacionado com o esforço físico e músculo-esquelético. O uso de escalas de conforto e desconforto são úteis na avaliação do desconforto na realização de atividades que, por exemplo, impliquem posturas não adequadas, repetitivas, estáticas ou dinâmicas.

Para avaliar o desconforto é importante utilizar instrumentos que avaliem aspetos físicos e psicológicos tais como, emoções, estética, movimentos, dor, antropometria, espaço disponível, tensão muscular, entre outros, dependendo do estudo em questão (Menegon et al., 2019).

## 2.4 Percepção de Esforço

A avaliação subjetiva da carga de trabalho e do nível de exercício físico depende da percepção das pessoas sobre os seus músculos ou sistema respiratório, como por exemplo, fadiga, dificuldade em respirar e dor, durante a realização de uma tarefa ou exercício. Essas percepções denominam-se de percepção de esforço (Chen et al., 2017).

A percepção de esforço é definida como sendo a intensidade subjetiva de esforço, tensão, desconforto e/ou fadiga, que ocorrem durante a realização de atividade física. A análise da percepção de esforço tem como objetivo avaliar o esforço físico (Tiggemann et al., 2010).

Segundo Borg (1982), a percepção de esforço é o indicador do grau de tensão física. A classificação geral da percepção de esforço integra várias informações, incluindo sinais extraídos do sistema músculo-esquelético, das funções cardiovasculares e respiratórias centrais e do sistema nervoso central. Todos esses sinais, percepções e experiências são integrados na dimensão de percepção de esforço (Borg, 1982).

A análise da percepção de esforço pode ser aplicada na avaliação da usabilidade de um sistema ou produto (Huysamen et al., 2018) e na avaliação da implementação de novos equipamentos, ferramentas ou outras alterações de características em postos de trabalho (Aziz et al., 2020).

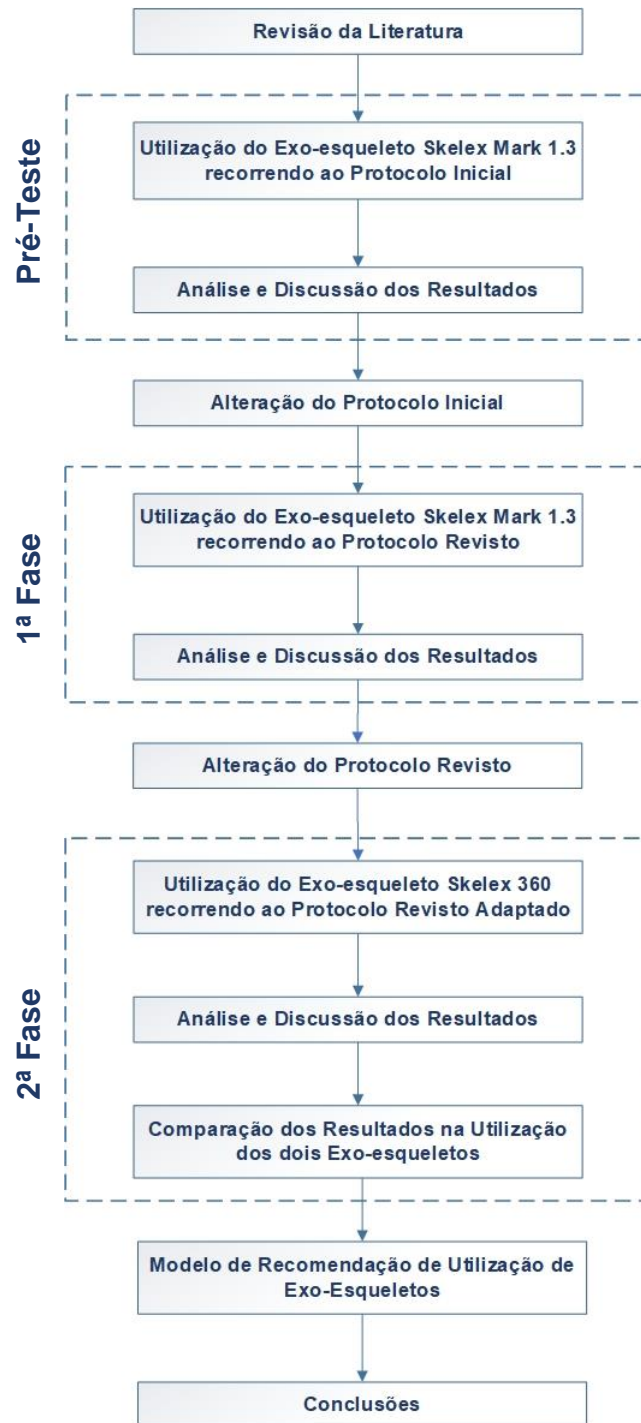
Na avaliação da percepção de esforço, a escala geralmente utilizada denomina-se de Escala de Borg CR-10 (Borg, 1982). A escala foi desenvolvida com o objetivo de ajudar atletas a determinar e monitorizar a intensidade de exercício físico. A Escala de Borg CR-10 usa números e palavras simples para descrever a intensidade de exercício físico e/ou a percepção de esforço físico. Comparada com outros métodos para avaliar a intensidade do esforço, é considerada uma forma de avaliação rápida e económica (Chen et al., 2017).





### 3 METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta a descrição da metodologia seguida na realização do trabalho, a qual se encontra representada no fluxograma da **figura 3.1**.



**Figura 3.1** - Metodologia

### 3.1 Pré-Teste

Nesta secção realiza-se uma breve descrição do exo-esqueleto utilizado pelos operadores, Skelex Mark 1.3®, apresenta-se o protocolo a aplicar (Protocolo Inicial), e o procedimento da análise dos resultados, com o objetivo de determinar se o protocolo precisa de ser modificado.

#### 3.1.1 Skelex Mark 1.3®

O Skelex Mark 1.3®, apresentado na figura do **Anexo A**, é um exo-esqueleto passivo que fornece suporte aos membros superiores em tarefas realizadas acima do nível do ombro e tem por objetivo reduzir a fadiga e atividade muscular.

A estrutura do exo-esqueleto pesa 3,7 kg. A sua capacidade máxima funcional de suporte é de 4,0 kg por braço. O exo-esqueleto é constituído por braçadeiras, arnês e cinto, revestidos com tecido lavável. O arnês contém vários ajustes, nomeadamente, nos ombros, peito, região dorsal e região lombar. As braçadeiras e o cinto são igualmente ajustáveis.

Quando o Skelex Mark 1.3® está a ser utilizado, é importante garantir que este esteja corretamente ajustado. O cinto deve estar confortavelmente apertado ao redor dos ossos pélvicos. O ajuste do peito deve ficar de modo que as alças não fiquem muito próximas das axilas. As alças devem ser confortavelmente apertadas para evitar a inclinação do exo-esqueleto.

O exo-esqueleto permite adaptar-se às amplitudes das medidas descritas na tabela do **Anexo A**. Se as medidas do utilizador não corresponderem às medidas tabeladas, o fabricante, Skelex b.v., não garante a funcionalidade do exo-esqueleto sem provocar desconforto.

#### 3.1.2 Protocolo Inicial

O protocolo para a utilização de um exo-esqueleto para os membros superiores, foi elaborado pela *Volkswagen Autoeuropa* com base em critérios definidos pelo Grupo *Volkswagen*. O protocolo desenvolvido é caracterizado pelos seguintes “parâmetros”, que a seguir se descrevem:

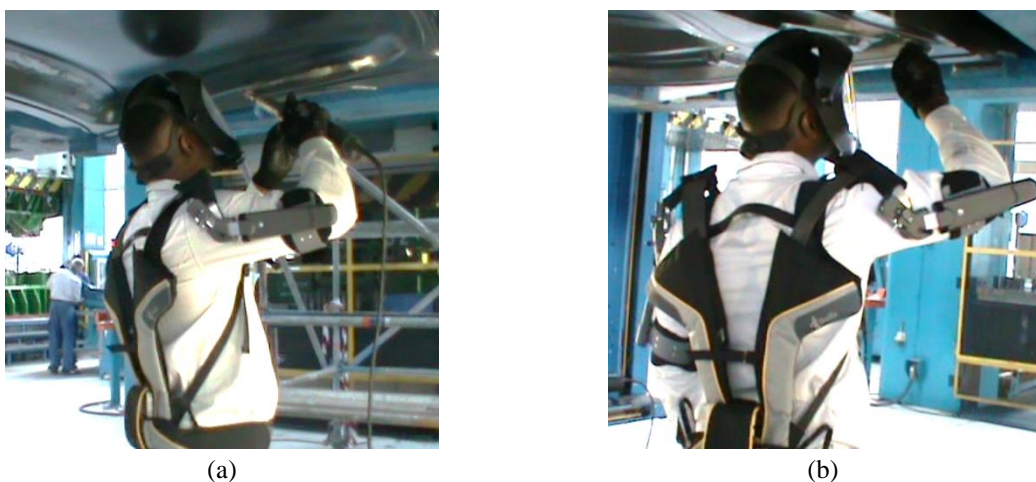
- Estações de Trabalho;
- Participantes;
- Duração do Teste;
- Tempo de Utilização;
- Questionários;
- Aplicação dos Questionários.

## Estações de Trabalho

A estação de trabalho “Cópia ao Alto” (CA), foi selecionada para o Pré-Teste por ser composta por cerca de 50% de trabalho realizado acima do nível do ombro.

A “Cópia ao Alto” envolve processos necessários na construção dos moldes que fazem a estampagem de peças e exige tarefas manuais por parte dos operadores, tais como: pintar peça, introduzir peça na mesa, prensar peça, retirar peça, remoção do excesso de material do molde através da utilização da *powertool* e da pedra, limpar molde, limar a *powertool* e a pedra.

Na **figura 3.2** estão representadas as tarefas realizadas acima do nível do ombro, com a utilização do Skelex Mark 1.3®, nomeadamente, (a) a utilização da *powertool*, e (b) a passagem de pedra, ambas utilizadas para a remoção do excesso de material.



**Figura 3.2** - Utilização do Skelex Mark 1.3® na “Cópia ao Alto” (a) Utilização da *powertool* (b) Passagem de pedra

## Participantes

A população da estação de trabalho é constituída por 59 operadores. Para convidar os operadores a participar, a informação referente ao estudo é transmitida nas reuniões de equipa, a todas as equipas pertencentes à estação de trabalho. A participação é voluntária e para participarem, os voluntários têm de garantir a conformidade com os seguintes critérios: (1) a sua qualificação tem de ser superior a três meses no posto de trabalho em análise; (2) o posto de trabalho tem de estar aprovado no plano de trabalho pelo Departamento Médico; e (3) a sua constituição física, nomeadamente, a altura tem de ser superior a 156 centímetros e o perímetro abdominal entre 84 e 124 centímetros.

De modo a cumprir com o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGDP) em vigor, os voluntários têm de assinar um consentimento informado, autorizando a sua participação no estudo e a recolha e utilização de dados pessoais. Antes do início dos testes, os voluntários terão de

efetuar uma avaliação médica inicial no Departamento Médico da empresa. É o Departamento Médico que decide se os voluntários estão aptos a participar, de acordo com os critérios médicos de elegibilidade definidos.

### **Duração do Teste**

Os testes têm a duração de quatro semanas e ocorrem no turno da manhã e da tarde, de segunda-feira a domingo.

Durante as quatro semanas, o exo-esqueleto apenas será utilizado quando os participantes estiverem a trabalhar no posto de trabalho em estudo, que depende do plano de rotação da equipa.

A realização dos testes em ambiente real de trabalho, implica o acontecimento de imprevistos que comprometem a utilização do exo-esqueleto, como por exemplo, alteração do plano de rotação e realização de reparações. Outro tipo de ocorrências pode condicionar os operadores na realização do teste num determinado dia. Os motivos podem ser, como por exemplo, temperatura ambiente muito elevada, sensação de fadiga ou motivos de saúde.

### **Tempo de Utilização**

Na primeira utilização é dada uma formação de quinze minutos para aprendizagem da forma de vestir, despir e ajustar o exo-esqueleto.

O tempo de utilização decorre no primeiro dia durante meia hora. Nos restantes dias, incrementa-se quinze minutos ao tempo de utilização, de modo a existir um período de adaptabilidade ao exo-esqueleto, até ao máximo de duas horas.

O tempo de utilização pode variar por motivos organizacionais ou por decisão do participante. Caso o participante sinta dor, deve retirar de imediato o exo-esqueleto.

### **Questionários**

Os participantes preenchem dois tipos de questionários, o Questionário de Usabilidade\_0 e o Questionário Diário\_0.

O Questionário de Usabilidade\_0 tem como objetivo avaliar a aceitação e intenção de uso do exo-esqueleto. Envolve questões relacionadas com o desconforto, perceção de utilidade e facilidade de uso e intenção de uso. O questionário está apresentado no **Anexo C**.

O Questionário Diário\_0 tem como objetivo verificar como o participante percebe a diversidade de tarefas, ao utilizar o exo-esqueleto. Pretende-se verificar se o exo-esqueleto

“ajuda” ou “perturba” nas tarefas realizadas acima do nível do ombro, designadas de tarefas principais, e nas restantes tarefas, designadas de tarefas secundárias. O questionário está apresentado no **Anexo D**.

Ambos os questionários foram baseados nos questionários disponibilizados pela Audi, utilizados num estudo para analisar e avaliar a aceitação e intenção de uso de um exo-esqueleto passivo para o suporte do tronco (Hensel & Keil, 2019).

### **Aplicação dos Questionários**

No fim de cada utilização do exo-esqueleto, é pedido ao participante que preencha um único questionário. No primeiro e no último dia de utilização é pedido que responda ao Questionário de Usabilidade\_0, e nos restantes dias ao Questionário Diário\_0.

#### **3.1.3 Análise dos Resultados**

O objetivo do Pré-Teste é verificar se os “parâmetros” do Protocolo Inicial estão elaborados de forma a obter os resultados necessários para avaliar a aceitação e intenção de uso. Caso se identifique alguma oportunidade de melhoria, procede-se à alteração dos “parâmetros” necessários do protocolo. Para se proceder a esta análise, avaliam-se os resultados do Questionário Diário\_0 e do Questionário de Usabilidade\_0.

Pelo Questionário Diário\_0 verifica-se se a utilização do exo-esqueleto melhora o desempenho dos operadores na realização das atividades de trabalho. Para tal, é pedido aos operadores que através de uma escala de concordância com 7 níveis indiquem se a utilização do exo-esqueleto ajuda ou perturba na realização das tarefas principais, tarefas realizadas acima do nível do ombro e nas tarefas secundárias, restantes tarefas. Considera-se, que entre 1 e 3 os operadores não concordam com as afirmações, 4 os operadores não concordam, nem discordam e entre 5 e 7 os operadores concordam com as afirmações.

Pelo Questionário de Usabilidade\_0 analisam-se os fatores que poderão influenciar a aceitação e intenção de uso através da percepção do desconforto em diferentes regiões corporais, a percepção de utilidade, a percepção de facilidade de uso e a intenção de uso dos operadores.

O desconforto permite identificar quais as regiões corporais onde os operadores indicam menor ou maior desconforto na utilização do exo-esqueleto. Para cada região corporal, o operador deve indicar o nível de desconforto, numa escala de 1 a 7, considerando 1 o mínimo de desconforto e 7 o máximo de desconforto.

Utilizando uma escala de concordância com 7 níveis, a percepção de utilidade e facilidade de uso avaliam a aceitação dos participantes relativamente à utilização do exo-esqueleto e a intenção de uso revela se o participante utilizaria o exo-esqueleto nas suas atividades de trabalho.

Nos questionários é pedido que os operadores deem as suas opiniões relativamente à experiência da utilização do exo-esqueleto. Essas opiniões permitem analisar as suas interpretações nos questionários preenchidos.

### 3.2 Alteração do Protocolo Inicial

As alterações ao Protocolo Inicial serão realizadas em função dos resultados obtidos no Pré-Teste. As alterações podem ser identificadas através das seguintes situações:

- Incoerência nas respostas dadas pelos operadores;
- Opiniões indicadas pelos operadores;
- Comparação entre as respostas dadas nos questionários e as opiniões dos operadores.

Depois de identificados os “parâmetros”, procede-se às alterações. As alterações dos questionários procedem-se com base na revisão da literatura das seguintes temáticas: utilização dos exo-esqueletos nas organizações, usabilidade, modelo de aceitação da tecnologia, desconforto e percepção de esforço.

Segundo Nielsen (1993), a usabilidade aplica-se a todos os aspetos de um sistema com o qual uma pessoa pode interagir. Assim sendo, para obter os resultados com eficácia, eficiência e satisfação, os questionários devem estar estruturados de forma a evitar erros nas respostas dadas pelos operadores.

No Questionário Diário\_0 a ordem da sequência das afirmações de “ajuda” e “perturba” são intercaladas. A versão *standard* do questionário *System Usability Scale* (SUS) (Brooke, 1996). é estruturado da mesma forma. Esta estrutura implica que a discordância e a concordância sejam selecionadas com cuidado, evitando respostas pouco refletidas. Ou seja, ao alternar as afirmações positivas e negativas, o operador deve ler cada uma das afirmações, sendo condicionado a pensar se concorda ou discorda (Brooke, 1996).

No entanto, Sauro e Lewis (2011) desenvolveram uma nova versão do questionário SUS, a versão positiva. Segundo Lewis e colaboradores (2013), a utilização da versão positiva tem vantagens relativamente à versão *standard*. A versão positiva evita erros de interpretação e leitura incorreta da escala.

Segundo Amandels e colaboradores (2019) e Spada e colaboradores (2017), os estudos no âmbito da utilização de exo-esqueletos podem obter diferentes resultados quando realizados em ambiente laboratorial controlado ou em ambiente real de trabalho.

Nesse contexto, o stress causado pelo trabalho pode fazer com que o operador cometa erros de interpretação e leitura incorreta da escala, ao alternar as afirmações de cariz positivo e negativo.

Assim sendo, decidiu-se alterar a sequência das afirmações de cariz positivo e negativo, de modo a que o operador ao responder, perceba facilmente quais as afirmações que são de cariz positivo e negativo.

No estudo realizado para avaliar a eficácia e a aceitação da utilização de um exo-esqueleto, conduzido por Spada e colaboradores (2017), avalia-se a perceção de esforço sem e com a utilização do exo-esqueleto. A perceção de esforço permite avaliar a perceção dos operadores em relação à exigência do trabalho e ao desempenho do exo-esqueleto.

No Questionário de Usabilidade\_1 é adicionada a avaliação da perceção de esforço verificada em diferentes regiões corporais onde a utilização do exo-esqueleto alivia ou aumenta a perceção de esforço. A escala utilizada para avaliar a perceção de esforço é baseada na Escala de Borg CR-10, apresentada na **tabela 3.1**.

**Tabela 3.1** - Escala de Borg CR-10

Adaptado de: (Borg, 1982)

0	Repouso
1	Demasiado leve
2	Muito, muito leve
3	Muito leve
4	Leve
5	Moderadamente leve
6	Moderado
7	Moderadamente intenso
8	Intenso
9	Muito intenso
10	Exaustivo

No Questionário de Usabilidade\_0, a avaliação da perceção de utilidade e perceção de facilidade de uso é baseada nos itens do questionário *Usability Metric for User Experience* (UMUX-LITE) (Lewis et al., 2013) e no modelo *Technology Acceptance Model* (TAM) (Davis, 1985). A avaliação da intenção de uso é baseada nos itens do questionário *Technology Usage Inventory* (Kothgassner et al., 2013).

O questionário UMUX-LITE e o modelo TAM consideram a perceção de utilidade e a perceção de facilidade de uso como indicadores da usabilidade da tecnologia em uso (do exo-esqueleto) e

da motivação do utilizador. Assim sendo, a perceção de utilidade e facilidade de uso e a intenção de uso continuarão a ser analisadas.

### 3.3 1ª Fase

Nesta secção é descrito o protocolo a aplicar (Protocolo Revisto) e o procedimento da análise dos resultados obtidos nos testes. A 1ª Fase tem como objetivo a análise e avaliação da aceitação e intenção de uso do Skelex Mark 1.3®.

#### 3.3.1 Protocolo Revisto

Procede-se às alterações definidas para o Protocolo Inicial, elaborando-se o Protocolo Revisto. Os “parâmetros” modificados neste protocolo são os seguintes:

- Estações de Trabalho;
- Questionários.

#### Estações de Trabalho

Na 1ª Fase, o exo-esqueleto é utilizado em três estações de trabalho, nomeadamente, na “Cablagem do Portão”, na “EPB/ Ligação Tubos Travão” e no “Aperto do Noise Shield”.

A estação de trabalho “Cablagem do Portão” (CP), é uma estação de trabalho que tem cerca de 59% de trabalho realizado acima do nível do ombro.

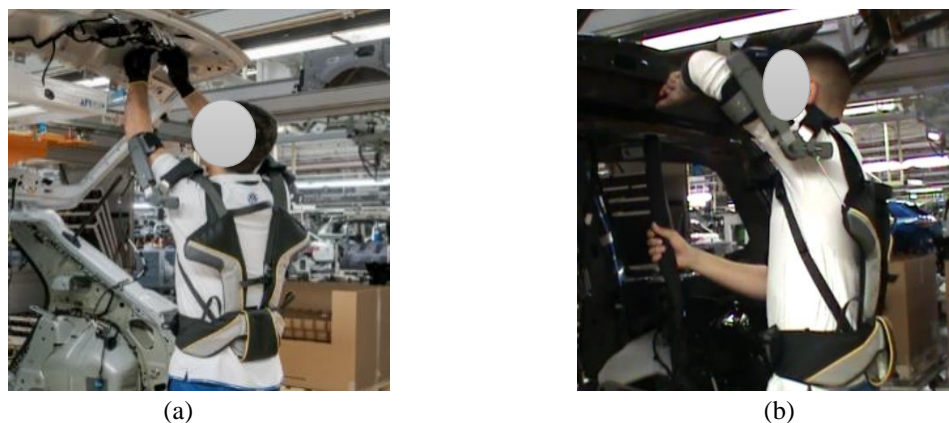
Na “Cablagem do Portão” verificam-se tarefas distintas nos dois modelos de automóveis, T-Roc e *Multiple Purpose Vehicle* (MPV). Na **tabela 3.2** estão descritas algumas tarefas realizadas em cada modelo.

**Tabela 3.2** - Tarefas realizadas na "Cablagem do Portão"

T-Roc	MPV
Roteamento e clipagem da cablagem do portão	Montar a cobertura inferior do vidro triangular
Pegar cablagem do portão e ligar conector	Pré-aperto lateral do motor da porta de correr
Parqueamento das fichas da cablagem do portão	Preparação cablagem portão
Apertar cabo de massa ao portão	Passar o saco da cablagem pelo portão traseiro



Na **figura 3.3** observam-se duas tarefas realizadas acima do nível do ombro, com a utilização do Skelex Mark 1.3®, nomeadamente, (a) roteamento e clipagem da cablagem no T-Roc, e (b) passagem do saco da cablagem pelo portão traseiro no MPV.



**Figura 3.3** - Utilização do Skelex Mark 1.3® na “Cablagem do Portão” (a) Roteamento e clipagem da cablagem (b) Passagem do saco da cablagem

Na estação de trabalho “EPB/ Ligação Tubos Travão” (EPB) são analisados em simultâneo dois postos de trabalho: “Ligação dos Tubos de Travão”, do lado esquerdo da estação de trabalho (L) e “Ligação das Linhas de Combustível”, do lado direito da estação de trabalho (R). O posto de trabalho “Ligação dos Tubos de Travão” tem cerca de 52% de trabalho realizado acima do nível do ombro e o posto de trabalho “Ligação das Linhas de Combustível” tem cerca de 51% de trabalho realizado acima do nível do ombro.

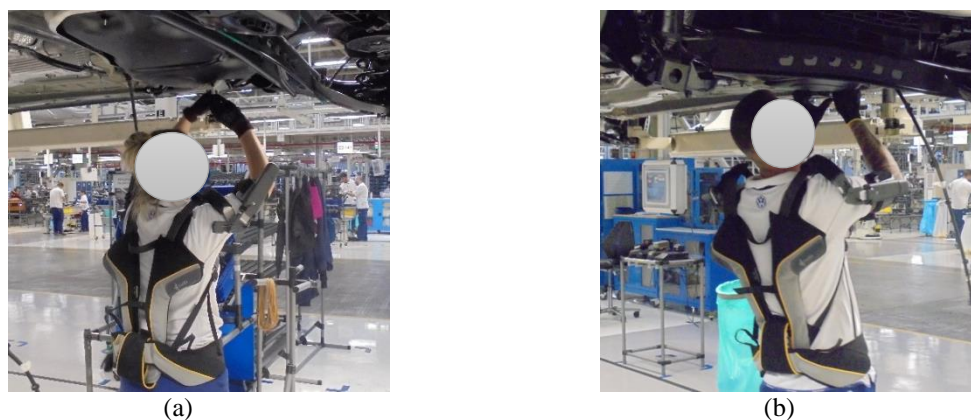
Na “EPB/ Ligação Tubos Travão” verificam-se tarefas distintas nos dois modelos de automóveis, T-Roc e MPV. Na **tabela 3.3** estão descritas algumas tarefas realizadas em cada modelo, sendo (L) no posto de trabalho do lado esquerdo e (R) no posto de trabalho do lado direito.

**Tabela 3.3** - Tarefas realizadas na “EPB/ Ligação Tubos Travão”

T-Roc	MPV
Rotear cabo EPB (R)	Retirar tampas das linhas de combustível (R)
Ligar linhas de combustível (R)	Retirar tampas ABS (R); (L)
Fixar cabo de travão de mão ao eixo traseiro (R)	Clipar cablagem do depósito de combustível (R)
Fixar cabo EPB no braço do eixo traseiro (R)	Ligar linhas de combustível ao depósito (R)
Apertar tubos de travão (L)	Apertar tubos de travão (L)
Fixar cabo de travão de mão ao eixo traseiro (L)	Remover cablagem ABS do gancho (L)
	Rotear cablagem do travão de mão (L)

Os participantes utilizam o exo-esqueleto tanto no posto de trabalho esquerdo como no direito, sendo o critério os seus planos de rotação de trabalho. Na avaliação não são distinguidos os postos de trabalho devido às suas semelhanças.

Na **figura 3.4** observam-se duas tarefas realizadas acima do nível do ombro, com a utilização do Skelex Mark 1.3®, nomeadamente, (a) apertar tubos de travão, e (b) clipar a cablagem do depósito de combustível.



**Figura 3.4** - Utilização do Skelex Mark 1.3® na “EPB/ Ligação Tubos Travão” (a) Apertar os tubos de travão (b) Clipar a cablagem

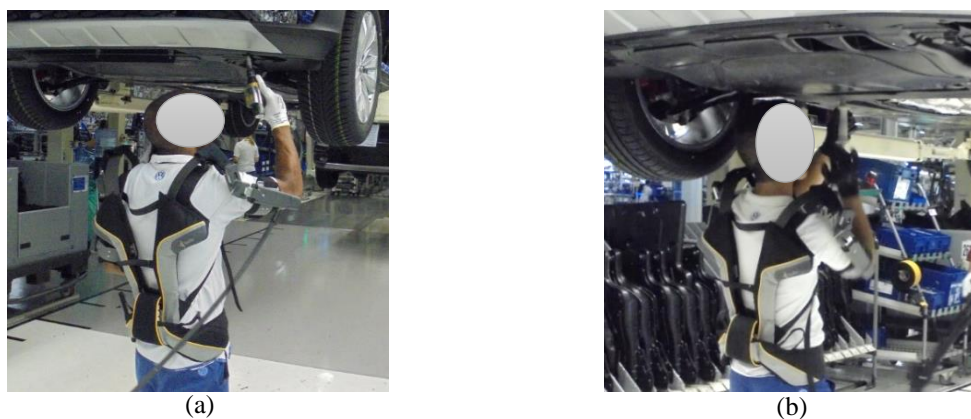
A estação de trabalho “Aperto do Noise Shield” (ANS), é uma estação de trabalho que tem cerca de 50% de trabalho realizado acima do nível do ombro.

No “Aperto do Noise Shield” verificam-se tarefas distintas nos dois modelos de automóveis, T-Roc e MPV. Na **tabela 3.4** estão descritas as tarefas realizadas na estação de trabalho.

**Tabela 3.4** - Tarefas realizadas no “Aperto do Noise Shield”

T-Roc	MPV
Apanhar parafusos para aperto do noise shield	Apertar para-choques
Apertar parafusos centrais	Apertar noise shield
Clipar noise shield	
Aparafusar noise shield	

Na **figura 3.5** observam-se duas tarefas realizadas acima do nível do ombro, com a utilização do Skelex Mark 1.3®, nomeadamente, (a) aparafusar noise shield e (b) clipar noise shield.



**Figura 3.5** - Utilização do Skelex Mark 1.3® no “Aperto do Noise Shield” (a) Aparafusar noise shield (b) Clipar noise shield

## **Participantes**

As populações da “Cablagem do Portão”, “EPB/ Ligação Tubos Travão e “Aperto do Noise Shield” são constituídas por 52 operadores por cada estação de trabalho. Os critérios de seleção dos participantes mantêm-se idênticos aos definidos no Protocolo Inicial.

## **Questionários**

Os participantes devem preencher dois tipos de questionários, o Questionário de Usabilidade\_1 e o Questionário Diário\_1.

O Questionário de Usabilidade\_1 envolve uma nova questão relacionada com a percepção de esforço sem e com o uso do exo-esqueleto. O questionário está apresentado no **Anexo E**.

O Questionário Diário\_1 está apresentado no **Anexo F**.

## **Restantes “Parâmetros”**

Os restantes “parâmetros” do protocolo, Duração do Teste, Tempo de Utilização e Aplicação dos Questionários não sofrem quaisquer alterações, pelo que se mantêm como descritos no Protocolo Inicial.

### **3.3.2 Análise dos Resultados**

O objetivo da 1ª Fase é avaliar a aceitação e intenção de uso do exo-esqueleto Skelex Mark 1.3® através da análise dos resultados do Questionário Diário\_1 e do Questionário de Usabilidade\_1. A análise e discussão dos resultados obtidos são elaboradas através de estatística descritiva e de dois testes não-paramétricos.

A análise dos resultados obtidos nos questionários aplicados é realizada como no Pré-Teste (consultar Secção 3.1.3). Adicionalmente, no Questionário de Usabilidade\_1 analisa-se a percepção de esforço. Esta análise permite verificar, na primeira e na última utilização, os fatores que poderão influenciar a aceitação e intenção de uso, através das regiões corporais onde a percepção de esforço, em média, é maior ou menor com a utilização do exo-esqueleto.

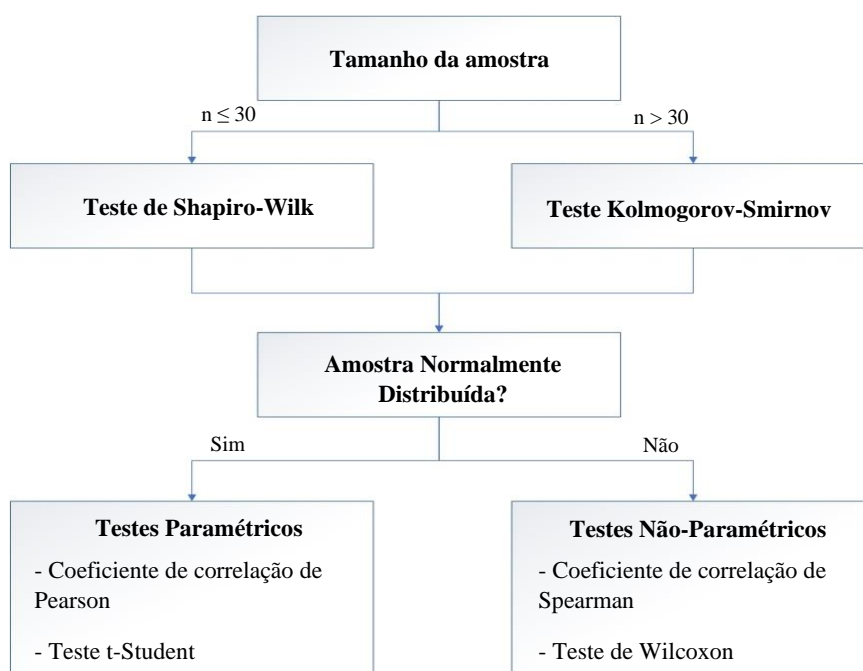
Nos questionários é pedido aos operadores que indiquem as suas considerações relativamente a aspetos positivos e aspetos a melhorar sobre a utilização do exo-esqueleto. Os seus comentários podem ajudar a identificar possíveis fatores que influenciem a aceitação e intenção de uso. Testes estatísticos são aplicados para verificar se os fatores são significativos.

### Testes paramétricos e não-paramétricos

Quando uma amostra ( $n$ ) é maior ou igual a trinta, denomina-se de grande amostra e a sua distribuição amostral é aproximadamente normal. As amostras de tamanho inferior a trinta, são denominadas pequenas amostras e tendem a seguir uma distribuição t-Student ou qui-quadrado (Spiegel, 1984).

Os testes não-paramétricos são considerados alternativa aos testes paramétricos quando as condições de aplicação destes, nomeadamente a normalidade da variável sob estudo não se verifica. Sempre que alguma das condições de aplicação dos testes paramétricos falhe, recorre-se aos testes não-paramétricos (Marôco, 2007).

A **figura 3.6** apresenta o procedimento de seleção dos testes estatísticos.



**Figura 3.6** - Procedimento de seleção dos testes estatísticos

Tal como o teste de Kolmogorov-Smirnov, o teste de Shapiro-Wilk é utilizado para testar se a amostra segue uma distribuição normal. Este teste é particularmente apropriado, e preferível ao teste de Kolmogorov-Smirnov, para amostras de pequena dimensão ( $n < 30$ ) (Marôco, 2007).

A escolha dos testes que determinam as correlações e as diferenças entre as variáveis em estudo, implica a verificação da distribuição amostral. Caso as amostras sigam uma distribuição normal, serão aplicados o teste de Pearson e o teste t-Student. Caso contrário, serão utilizados o coeficiente de correlação de Spearman e o teste de Wilcoxon.

Todos os testes estatísticos aplicados são realizados para um nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05.

A verificação da normalidade será realizada para cada uma das estações de trabalho, considerando que cada estação de trabalho envolve uma amostra.

Para verificar as variáveis que se correlacionam e a diferença entre as mesmas, consideram-se como variáveis as regiões corporais analisadas na percepção de esforço e no desconforto e as questões relacionadas com a aceitação, percepção de esforço e percepção de facilidade de uso, e a intenção de uso.

As variáveis da percepção de esforço denominam-se abreviadamente por “PE.” e o nome da região corporal respectiva. As variáveis do desconforto denominam-se abreviadamente por “D.” e o nome da região corporal respectiva.

Para as questões relacionadas com a aceitação e intenção de uso, denominam-se abreviadamente a questão da percepção de utilidade por “Funcionalidade”, as questões relacionadas com a percepção de facilidade de uso por “Fácil Usar” e “Vestir” e as questões relacionadas com a intenção de uso por “Acesso” e “Usaria”.

### **Coeficiente de Correlação de Spearman**

O Coeficiente de Correlação de Spearman ( $\rho$ ) mede a intensidade da relação entre variáveis. O coeficiente varia entre (+1) e (-1). Caso o coeficiente seja muito próximo (+1), indica que quanto maior a variável, maior é a que se correlaciona. No caso de o coeficiente ser muito próximo de (-1), indica que quanto maior a variável, menor é a que se correlaciona. Quando se mede a correlação entre variáveis, se se obtiver (+1) significa que existe uma relação linear perfeita e positiva, enquanto que (-1) significa uma relação linear perfeita e negativa. Valores próximos de zero para o coeficiente de correlação linear indicam uma baixa associação linear entre as variáveis (Reis, 1998).

No estudo as variáveis do Questionário de Usabilidade\_1 são correlacionadas, de modo a verificar quais os fatores que podem ou não influenciar a aceitação e intenção de uso, nomeadamente, a percepção de utilidade, a percepção de facilidade de uso e a intenção de uso.

### **Teste de Wilcoxon**

O teste de Wilcoxon considera o sentido e o valor das diferenças entre um par de variáveis, isto é, atribui maior ponderação a um par que apresenta uma grande diferença, em relação a outros pares, nas mesmas condições (Siegel & Castellan, 1975).

O teste de Wilcoxon permite identificar onde existe uma diferença significativa das variáveis em determinadas condições. Se o *p-value* ( $p$ ) for inferior ao nível de significância considerado ( $\alpha=0,05$ ), significa que existe uma diferença significativa.

O teste é aplicado em duas situações distintas. Verifica-se se a percepção de esforço sem e com a utilização do exo-esqueleto é significativamente diferente. Esta análise permite identificar as regiões corporais onde existe uma alteração significativa na percepção de esforço ao utilizar o exo-esqueleto. Por outro lado, se a percepção de esforço, o desconforto, a percepção de utilidade, a percepção de facilidade de uso e a intenção de uso são significativamente diferentes do primeiro para o último dia de utilização do exo-esqueleto. Esta análise permite verificar se o tempo de utilização é um fator significativo na influência da aceitação e intenção de uso.

### 3.4 Alteração do Protocolo Revisto

Existiu a necessidade de se proceder a alterações no protocolo para a realização da comparação da utilização dos exo-esqueletos e por motivos organizacionais.

No parâmetro “Questionário” acrescenta-se uma questão no Questionário de Usabilidade\_1, que permite a comparação do Skelex 360® com o Skelex Mark 1.3® com o objetivo de verificar se a utilização de um novo exo-esqueleto influencia a aceitação e intenção de uso.

Para a elaboração da questão, consideram-se os aspetos a melhorar identificados nos questionários preenchidos na 1ª Fase. As características seleccionadas para a comparação dos exo-esqueletos, em cada estação de trabalho, correspondem aos aspetos a melhorar indicados com maior frequência.

### 3.5 2ª Fase

Nesta secção realiza-se uma breve descrição do exo-esqueleto utilizado pelos operadores, Skelex 360®, apresenta-se o protocolo a aplicar (Protocolo Revisto Adaptado), o procedimento da análise dos resultados e a comparação dos resultados da utilização dos dois exo-esqueletos, na 1ª Fase e na 2ª Fase. O objetivo é analisar e avaliar a aceitação e intenção de uso do Skelex 360®.

#### 3.5.1 Skelex 360®

O Skelex 360®, apresentado na figura do **Anexo B**, é a versão seguinte do Skelex Mark 1.3®. Possui várias melhorias tais como: diminuição do peso; diminuição das áreas de contacto com o corpo; implementação de novos ajustes; possibilidade do utilizador regular a força com o exo-esqueleto vestido e permite o aumento da liberdade de movimento.

A estrutura do Skelex 360® pesa 2,7 kg. A sua capacidade máxima funcional de suporte é de 3,5 kg por braço. O exo-esqueleto é constituído por um arnês e duas braçadeiras, revestidos com

tecido lavável. O arnês contém vários ajustes, nomeadamente, nos ombros, braços, peito e cintura. As braçadeiras são igualmente ajustáveis.

O Skelex 360® permite uma maior amplitude dos movimentos do tronco, como por exemplo, flexão e rotação, são possíveis através das dobradiças e articulações de baixo atrito.

O exo-esqueleto permite adaptar-se às amplitudes das medidas descritas na tabela do **Anexo B**. Se as medidas do utilizador não corresponderem às medidas tabeladas, o fabricante, Skelex b.v., não garante a funcionalidade do exo-esqueleto sem provocar desconforto. Comparativamente ao Skelex Mark 1.3®, o Skelex 360® já envolve um intervalo maior nos ajustes da largura do ombro e da cintura.

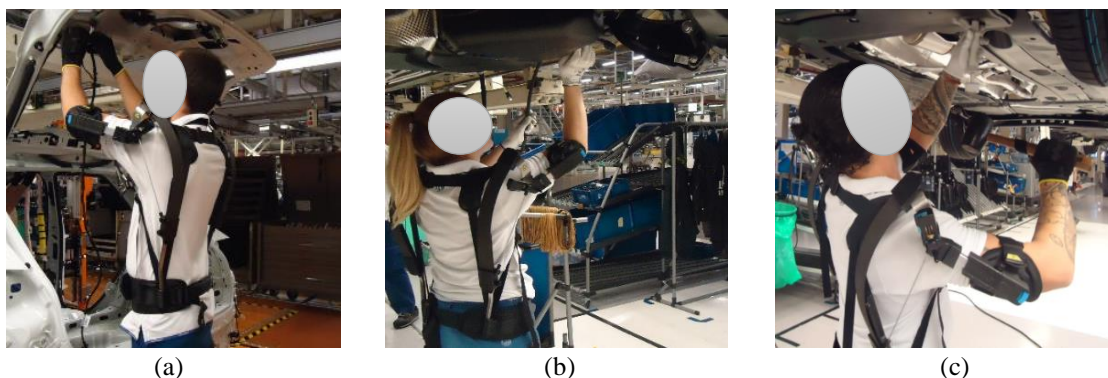
### 3.5.2 Protocolo Revisto Adaptado

Na 2ª Fase do estudo, o protocolo é alterado e denomina-se de Protocolo Revisto Adaptado. As alterações ao protocolo foram feitas por motivos organizacionais. Os “parâmetros” alterados neste protocolo são os seguintes:

- Participantes;
- Duração do Teste;
- Questionários;
- Aplicação dos Questionários.

### Estações de Trabalho

Na 2ª Fase, os testes irão decorrer nas mesmas estações de trabalho. A **figura 3.7** ilustra os operadores a utilizarem o exo-esqueleto nas estações de trabalho (a) “Cablagem do Portão”, (b) “EPB/ Ligação Tubos Travão” e (c) “Aperto do Noise Shield”.



**Figura 3.7** - Utilização do Skelex 360® nas estações de trabalho (a) "Cablagem do Portão" (b) EPB/ Ligação Tubos Travão (c) "Aperto Noise Shield"

## **Participantes**

Nesta fase de teste, os critérios de participação foram alterados. Para poderem participar, os voluntários devem corresponder aos seguintes critérios: (1) participou na fase de teste anterior, com o exo-esqueleto Skelex Mark 1.3®; (2) o comprimento do tronco, entre ombros, cintura e circunferência do braço tem de corresponder às especificações designadas pelo fabricante; e (3) o Departamento Médico tem de indicar um parecer positivo para a sua participação.

O convite para participar, é feito numa nova apresentação às equipas. Os voluntários têm de assinar um novo consentimento informado. O voluntário é considerado apto para o estudo se na avaliação médica final da 1ª Fase obteve um parecer positivo do Departamento Médico.

## **Duração do Teste**

Os testes têm a duração de duas semanas e ocorrem no turno da manhã e da tarde, de segunda-feira a domingo.

## **Questionários**

No Questionário de Usabilidade\_1 foi adicionada uma nova questão para cada estação de trabalho, com o objetivo de comparar a utilização do Skelex Mark 1.3® e do Skelex 360®. A questão é baseada nos aspetos a melhorar reportados com maior frequência pelos operadores de cada estação de trabalho. Como exemplo, a questão aplicada na estação de trabalho “EPB/Ligação Tubos Travão” está apresentada no **Anexo G**.

## **Aplicação dos Questionários**

Como os operadores utilizaram o exo-esqueleto na 1ª Fase e devido à diminuição do tempo de utilização nesta fase de teste, o Questionário de Usabilidade\_1 é aplicado somente no último dia de utilização do exo-esqueleto. Um dos motivos de o Questionário de Usabilidade\_1 ser aplicado no primeiro e no último dia, é permitir a comparação da perceção do primeiro impacto e ao fim de várias utilizações. O que não se sucede na 2ª Fase, pelo que os operadores já têm a experiência da 1ª Fase.

A aplicação do Questionário Diário\_1 mantém-se como definido no Protocolo Revisto (consultar Secção 3.3.1).



### **Restantes “Parâmetros”**

Os restantes “parâmetros” do protocolo, Estações de Trabalho e Tempo de Utilização não sofrem quaisquer alterações. Os “parâmetros” mencionados mantêm-se como descritos no Protocolo Revisto.

### **3.5.3 Análise dos Resultados**

O objetivo da 2ª Fase é analisar e avaliar a aceitação e intenção de uso do Skelex 360® através da análise dos resultados do Questionário Diário\_1 e do Questionário de Usabilidade\_1. Semelhante à 1ª Fase, a análise e discussão dos resultados obtidos são elaboradas através de estatística descritiva e de dois testes não-paramétricos.

A análise dos resultados obtidos nos questionários aplicados é realizada como na 1ª Fase (consultar Secção 3.3.2).

Nos questionários é pedido aos operadores que indiquem as suas considerações relativamente a aspetos positivos e aspetos a melhorar sobre a utilização do exo-esqueleto. Os seus comentários podem ajudar a determinar possíveis fatores que influenciem a aceitação e intenção de uso. Testes estatísticos são aplicados para verificar se os fatores que podem influenciar a aceitação e intenção de uso são significativos.

### **Testes paramétricos e não-paramétricos**

O procedimento de seleção dos testes estatísticos e a aplicação do coeficiente de correlação de Spearman são realizados de forma idêntica à 1ª Fase (consultar Secção 3.3.2).

O teste de Wilcoxon verifica a perceção de esforço, sem a utilização e com a utilização do exo-esqueleto. Através desta análise obtêm-se as regiões corporais onde existe uma diferença significativa na perceção de esforço ao utilizar o exo-esqueleto.

### **3.5.4 Comparação dos Resultados na Utilização de dois Exo-esqueletos**

A comparação dos resultados obtidos na 1ª Fase e na 2ª Fase permite identificar se a utilização do Skelex 360® altera a aceitação e intenção de uso dos utilizadores, *i.e.*, se ao atualizar as características do exo-esqueleto, as perceções dos utilizadores se alteram.

A comparação dos resultados obtidos através da utilização dos dois exo-esqueletos é verificada de duas formas. Uma das formas é a comparação realizada pelos operadores no preenchimento do Questionário de Usabilidade\_1 na 2ª Fase. A segunda forma de comparação, é efetuada através dos resultados do Questionário de Usabilidade\_1 final da 1ª Fase, preenchido no último dia de utilização, e o Questionário de Usabilidade\_1 preenchido na 2ª Fase.

O teste de Wilcoxon permite verificar os resultados de percepção de esforço, desconforto, percepção de utilidade e facilidade de uso e intenção de uso entre o Skelex Mark 1.3® e o Skelex 360®. Este teste estatístico permite identificar se existe diferenças significativas na utilização dos exoesqueletos.

Nos questionários é pedido aos operadores que indiquem as suas considerações relativamente a aspetos positivos e aspetos a melhorar sobre a utilização do exo-esqueleto. A análise dos seus comentários permite identificar propostas de melhoria do exo-esqueleto.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são analisados e discutidos os resultados obtidos nas fases de teste, as alterações realizadas nos protocolos, a comparação dos resultados na utilização de dois exo-esqueletos e a elaboração de um modelo de recomendação de utilização de exo-esqueletos.

### 4.1 Pré-Teste

Os testes decorreram na “Cópia ao Alto” (CA), com uma amostra constituída por dois operadores. Como os questionários são anónimos, os operados caracterizam-se por operador 1 e operador 2.

#### 4.1.1 Questionário Diário

Consideram-se tarefas principais, as tarefas realizadas acima do nível do ombro e consideram-se tarefas secundárias, as restantes tarefas. As tabelas 4.1 e 4.2, apresentam os resultados obtidos nos questionários preenchidos em cada dia de utilização.

**Tabela 4.1** - Resultados do Questionário Diário - Operador 1

Dia de utilização	Utilização do exo-esqueleto – Operador 1			
	Tarefa Principal		Tarefa Secundária	
	Ajuda	Perturba	Ajuda	Perturba
2º dia	4	4	4	4
3º dia	4	5	4	5
4º dia	4	5	5	5
5º dia	4	4	5	4

**Tabela 4.2** - Resultados do Questionário Diário - Operador 2

Dia de utilização	Utilização do exo-esqueleto – Operador 2			
	Tarefa Principal		Tarefa Secundária	
	Ajuda	Perturba	Ajuda	Perturba
2º dia	5	4	3	3
3º dia	5	6	5	5
4º dia	5	6	5	6
5º dia	5	6	5	5

Relativamente às tarefas principais, para além da informação das tabelas 4.1 e 4.2, os operadores comentaram que na tarefa de remoção de excesso de material do molde, o exo-esqueleto ajuda na utilização da *powertool* e perturba na utilização da pedra.

Relativamente às tarefas secundárias, os operadores referem que o exo-esqueleto ajuda na movimentação manual das peças para pintar, mas limita os movimentos ao pintar as peças.

Para ambos os operadores, a classificação correspondente à “Tarefa Principal”, a afirmação “Ajuda” manteve-se constante ao longo dos dias. Todas as restantes classificações variaram no mesmo período.

Na leitura dos resultados, o operador 1 em nenhuma ocasião tem uma opinião discordante sobre a ajuda e a perturbação do exo-esqueleto na realização das tarefas (classificação entre 1 e 3). Também se verifica que este operador apenas utiliza as classificações 4 e 5 (4 - Não discorda nem concorda; 5- Concorda), havendo alguma contradição entre os registos “Ajuda” e “Perturba”.

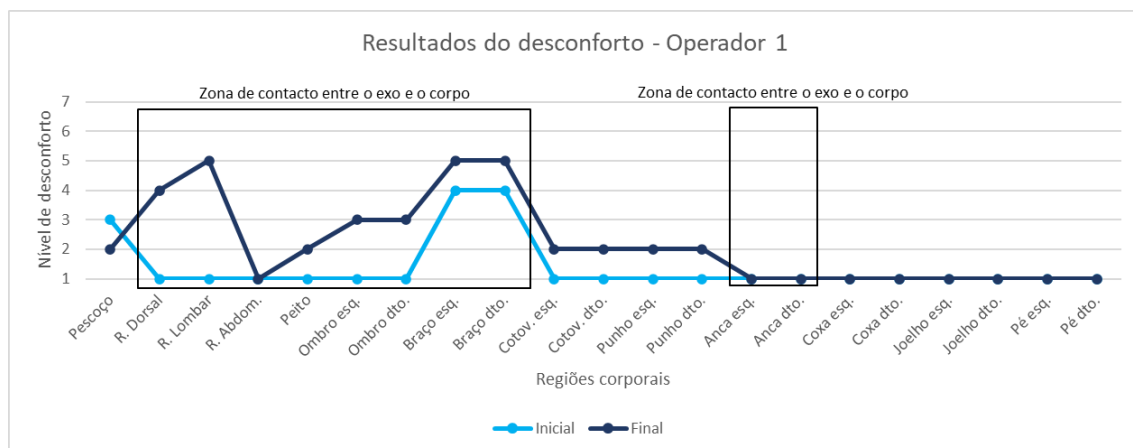
Na leitura dos resultados, o operador 2 concorda que o exo-esqueleto “Ajuda” e “Perturba” simultaneamente, e o mesmo se verifica quando discorda, existindo uma contradição nas respostas dadas.

Conclui-se que os resultados contraditórios dos operadores poderão surgir da ocorrência da interpretação errada da escala de concordância ou das afirmações.

#### 4.1.2 Questionário de Usabilidade

Pelo Questionário de Usabilidade avalia-se o desconforto, a perceção de utilidade, a perceção de facilidade de uso e a intenção de uso, no primeiro dia (inicial) e no último dia (final) de utilização.

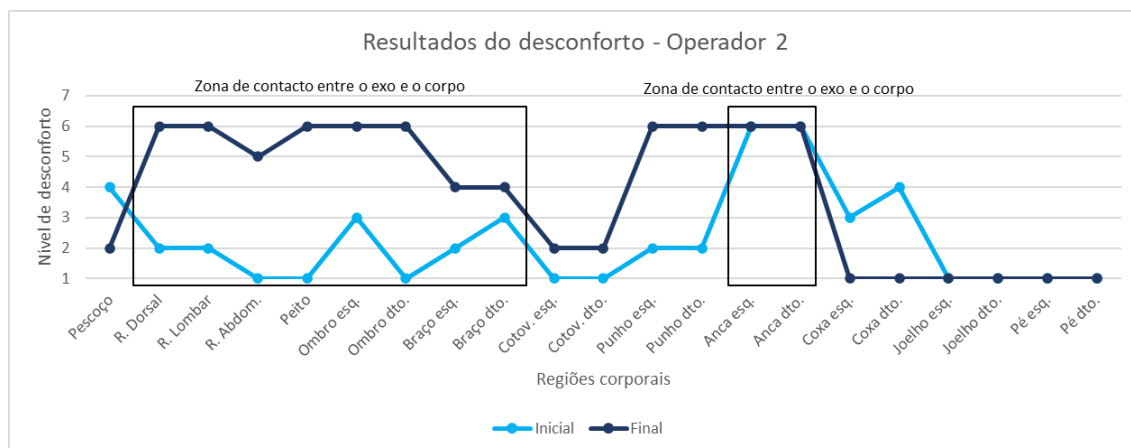
O gráfico, na **figura 4.1**, apresenta os resultados do desconforto nas diferentes regiões corporais reportados pelo operador 1.



**Figura 4.1** - Resultados do desconforto - Operador 1

No primeiro dia, o operador 1 considerou o mínimo de desconforto para todas as regiões corporais, à exceção do pescoço e dos braços. No último dia, o desconforto aumentou em todas as regiões corporais, à exceção do pescoço, região abdominal, anca e membros inferiores. Conclui-se que não existiu nenhuma contradição apresentada nos resultados do operador.

O gráfico, na **figura 4.2**, apresenta os resultados do desconforto nas diferentes regiões corporais reportados pelo operador 2.



**Figura 4.2** - Resultados do desconforto - Operador 2

No primeiro dia, o operador 2 sentiu desconforto em várias regiões corporais, sendo o desconforto na anca o mais elevado. No último dia, o desconforto aumentou em todas as regiões corporais, à exceção do pescoço, anca e membros inferiores.

O operador classificou um nível de desconforto elevado nos punhos, onde não existe contacto com o exo-esqueleto. Como referido no questionário, o desconforto provocado pela utilização do exo-esqueleto pode estar associado, por exemplo, a calor, pressão ou fricção. Caso o exo-esqueleto provoque elevados níveis de desconforto, deverá ocorrer nas regiões de contacto com o corpo.

No último dia de utilização, os operadores indicaram os maiores níveis de desconforto nas regiões corporais que estão em contacto com o exo-esqueleto, à exceção do operador 2 que referiu desconforto nos punhos. Conclui-se que o desconforto tende a aumentar com o aumento progressivo da duração de utilização do exo-esqueleto.

A aceitação do utilizador é avaliada através da percepção de utilidade e da percepção de facilidade de uso ao vestir e despir e na realização das atividades de trabalho. A intenção de uso é avaliada através da intenção de ter acesso ao exo-esqueleto no posto de trabalho e de o usar. A **tabela 4.3**, apresenta os resultados da aceitação e intenção de uso do operador 1, no primeiro e no último dia de utilização.

**Tabela 4.3** - Resultados da aceitação e intenção de uso - Operador 1

	Resultados da aceitação e intenção de uso – Operador 1					
	Percepção de utilidade		Percepção de facilidade de uso		Intenção de uso	
	Vestir	Atividade	Vestir	Atividade	Acesso	Usaria
Inicial	4	4	3	3	6	6
Final	6	4	6	4	6	6

No primeiro dia, o operador 1, não teve uma boa percepção de utilidade nem de facilidade de uso, tanto ao vestir e despir o exo-esqueleto, como na realização da sua atividade. No último dia, a percepção de utilidade e facilidade de uso aumentou relativamente a vestir o exo-esqueleto, o que indica que, ao ganhar experiência ao vestir e despir o exo-esqueleto começou a considerar a sua execução mais prática e acessível.

O exo-esqueleto permite ajustar os níveis de força do suporte dos membros superiores. O operador 1 considera que para diferentes tarefas são necessários diferentes níveis de força de suporte e o exo-esqueleto não permite que o utilizador altere os níveis de força com o exo-esqueleto vestido, sendo necessário despir o exo-esqueleto para proceder a essa alteração. Por esta razão, o operador não tem uma percepção positiva relativamente à funcionalidade do exo-esqueleto durante a realização da sua atividade de trabalho.

No primeiro e no último dia, a intenção de uso do exo-esqueleto é positiva. Conclui-se que o operador pretende utilizar o exo-esqueleto, mesmo com a apresentação de alguns inconvenientes.

A **tabela 4.4**, apresenta os resultados da aceitação e intenção de uso do operador 2.

**Tabela 4.4** - Resultados da aceitação e intenção de uso - Operador 2

	Resultados da aceitação e intenção de uso					
	Percepção de utilidade		Percepção de facilidade de uso		Intenção de uso	
	Vestir	Atividade	Vestir	Atividade	Acesso	Usaria
Inicial	6	5	6	5	7	6
Final	6	6	6	6	6	6

Tanto no primeiro como no último dia, o operador 2 considera positiva a percepção de utilidade e facilidade de uso, ao vestir o exo-esqueleto e na realização das suas atividades de trabalho.

De acordo com os resultados obtidos, nas duas tabelas, os dois operadores pretendem ter acesso ao exo-esqueleto no posto de trabalho e pretendem usá-lo.

Conclui-se que não existiu nenhuma contradição apresentada nos resultados dos operadores.

## 4.2 Alteração do Protocolo Inicial

No Protocolo Inicial são efetuadas alterações no “parâmetro” Questionários. Os restantes parâmetros do protocolo não são alterados.

#### 4.2.1 Questionário Diário

Os resultados obtidos no Questionário Diário não permitem tirar conclusões em relação ao suporte dado pelo exo-esqueleto na realização das tarefas, por não existirem resultados objetivos em que os operadores considerem de forma consistente se o exo-esqueleto ajuda ou perturba.

O operador 1 em nenhuma ocasião tem uma opinião discordante (classificação entre 1 e 3). Também se verifica que este operador apenas utiliza as classificações 4 e 5, havendo alguma contradição entre os registos “Ajuda” e “Perturba”.

O operador 2 concorda que o exo-esqueleto “Ajuda” e “Perturba” simultaneamente, e o mesmo se verifica quando discorda, existindo uma contradição nas respostas dadas.

De acordo com os resultados, poderão ter ocorrido erros ao utilizar a escala de concordância ou ter sido feita uma interpretação errada das afirmações.

Nesse contexto, alternar questões de cariz positivo e negativo, poderá fazer com que o operador cometa erros de interpretação ou de leitura da escala. Deste modo, ao invés de intercalar as afirmações de “Ajuda” e “Perturba”, optou-se por separá-las.

A designação das tarefas no questionário é também alterada. Ao invés de se denominar por tarefas principais e tarefas secundárias, designam-se por tarefas realizadas acima do nível do ombro e por outras tarefas. Esta alteração permite uma interpretação mais eficaz, ao eliminar a necessidade de o operador ter de se lembrar o que são tarefas principais e secundárias.

Estas alterações evitam que os operadores interpretem incorretamente as afirmações ou cometam erros no preenchimento dos questionários.

A **tabela 4.5** apresenta as alterações aplicadas no Questionário Diário. Do lado esquerdo, as afirmações utilizadas no Pré-Teste e do lado direito, as afirmações utilizadas nas Restantes Fases.

**Tabela 4.5** - Alterações aplicadas no Questionário Diário

<b>Pré-Teste</b>	<b>Restantes Fases</b>
O exo-esqueleto...	O exo-esqueleto...
1. Ajudou-me na realização das tarefas principais	1. Ajudou-me na realização das tarefas acima do nível do ombro
2. Perturbou-me na realização das tarefas secundárias	2. Ajudou-me na realização das outras tarefas
3. Ajudou-me na realização das tarefas principais.	3. Perturbou-me na realização das tarefas acima do nível do ombro.
4. Perturbou-me na realização das tarefas secundárias.	4. Perturbou-me na realização das outras tarefas.

#### 4.2.2 Questionário de Usabilidade

Os resultados obtidos no Questionário de Usabilidade permitem tirar conclusões em relação ao desconforto e à aceitação e intenção de uso. No entanto, ocorreram algumas contradições, pelo qual o questionário é alterado.

Nos resultados obtidos do desconforto, o operador 2 classificou um desconforto elevado nos punhos. Como referido no questionário, o desconforto provocado pela utilização do exo-esqueleto pode estar associado, por exemplo, calor, pressão e fricção. Caso o exo-esqueleto provoque elevados níveis de desconforto, deverá ocorrer nas regiões de contacto com o corpo.

Considera-se a hipótese de o operador ter interpretado o desconforto físico como percepção de esforço, sendo que ao utilizar o exo-esqueleto o operador poderá ter uma postura que aumente a realização de esforço numa determinada região corporal, mesmo que esta não esteja em contacto com o exo-esqueleto. Assim sendo, introduziu-se uma nova questão relacionada com a percepção de esforço sem e com a utilização do exo-esqueleto.

Na questão do desconforto avaliam-se apenas as regiões corporais onde existe contacto com o exo-esqueleto.

Nas questões relacionadas com a aceitação e intenção de uso, reformulam-se as afirmações, de modo a evitar possíveis erros de interpretação. Sintetizam-se as frases relacionadas com a percepção de utilidade e a percepção de facilidade de uso.

A percepção de utilidade dos operadores é, de modo geral, avaliada durante a realização das atividades de trabalho. Assim sendo, a questão de percepção de utilidade relacionada com vestir e despir o exo-esqueleto é retirada.

As questões relacionadas com a intenção de uso deixam de ser interrogações e passam a ser afirmações, de modo a manter coerência com as restantes questões avaliadas.



A **tabela 4.6** apresenta as alterações das questões de aceitação e intenção de uso aplicadas no Questionário de Usabilidade. Do lado esquerdo, as questões utilizadas no Pré-Teste e do lado direito, as questões utilizadas nas Restantes Fases.

**Tabela 4.6** - Alteração das questões de aceitação e intenção de uso aplicadas no Questionário de Usabilidade

<b>Aceitação e Intenção de Uso</b>	<b>Pré-Teste</b>	<b>Restantes Fases</b>
<b>Percepção de Utilidade</b>	As funções do exo-esqueleto dos membros superiores vão ao encontro das minhas necessidades ao vestir e despir.	As funcionalidades do exo-esqueleto vão ao encontro das minhas necessidades na realização da minha atividade.
	As funções do exo-esqueleto dos membros superiores vão ao encontro das minhas necessidades na realização da minha atividade.	
<b>Percepção de Facilidade de Uso</b>	O exo-esqueleto dos membros superiores é fácil de usar ao vestir e despir.	O exo-esqueleto é fácil de vestir e despir.
	O exo-esqueleto dos membros superiores é fácil de usar na realização da minha atividade.	Na execução das minhas tarefas, o exo-esqueleto é fácil de usar.
<b>Intenção de Uso</b>	Gostaria de ter acesso a esta tecnologia?	Eu gostaria de ter acesso ao exo-esqueleto.
	Usaria esta tecnologia?	Eu usaria o exo-esqueleto.

Concluiu-se que todas as questões devem ser reformuladas, de modo a obter resultados mais conclusivos relativamente às opiniões dos operadores.

### 4.3 1ª Fase

A 1ª Fase decorreu na “Cablagem do Portão” (CP), na “EPB/ Ligação Tubos Travão” (EPB) e no “Aperto do Noise Shield” (ANS). A **tabela 4.7** apresenta o número de operadores que constitui cada amostra.

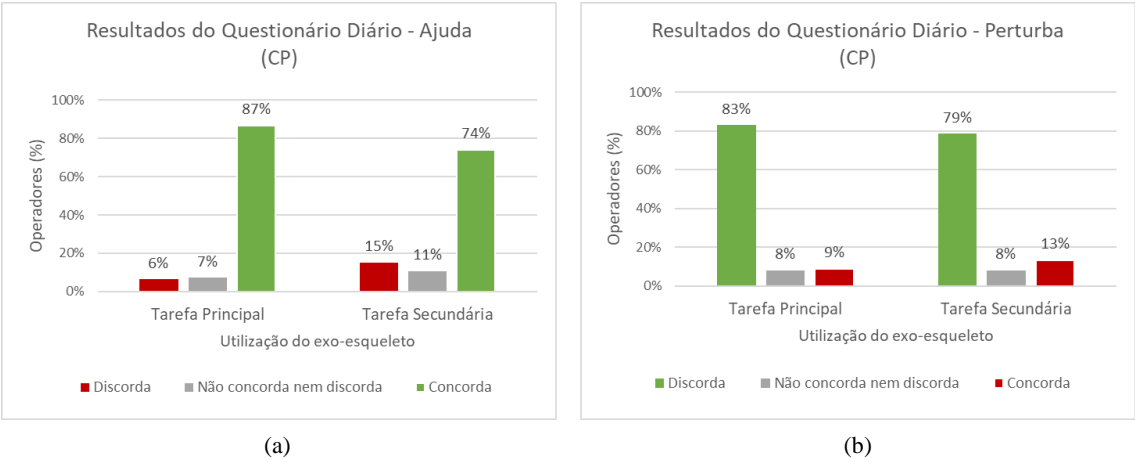
**Tabela 4.7** - Amostra - 1ª Fase

<b>Amostra</b>			
<b>Estação</b>	<b>CP</b>	<b>EPB</b>	<b>ANS</b>
Operadores	17	12	18

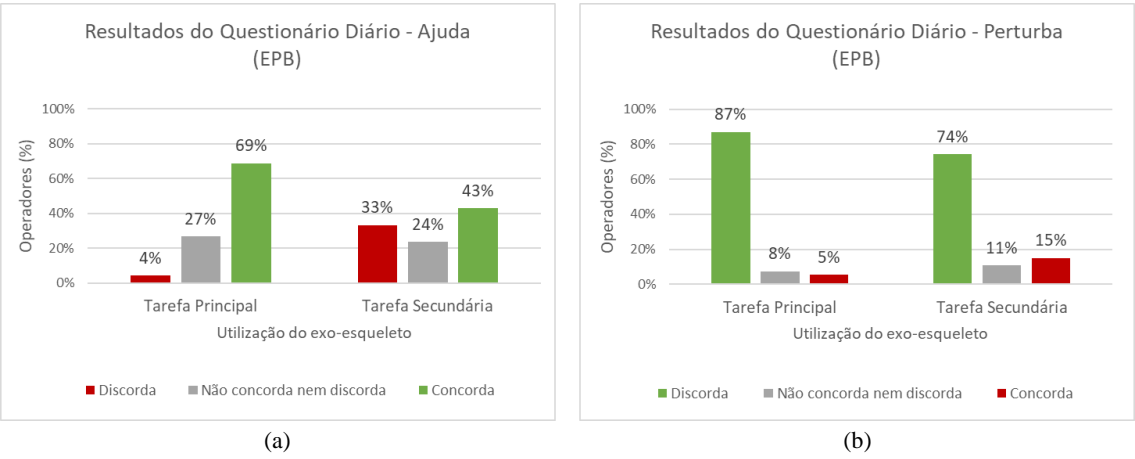
#### 4.3.1 Questionário Diário

Considerando tarefa principal, as tarefas realizadas acima do nível do ombro e tarefa secundária, as restantes tarefas, nas **figuras 4.3, 4.4 e 4.5** apresentam-se as percentagens de operadores que concordam que a utilização do exo-esqueleto (a) ajuda ou (b) perturba na realização das suas

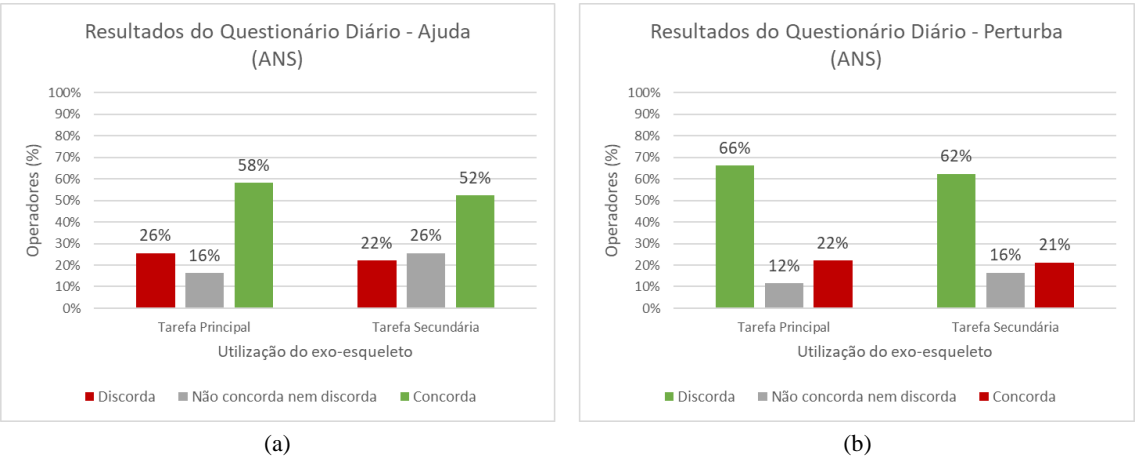
atividades de trabalho, na “Cablagem do Portão”, na “EPB/ Ligação Travão” e no “Aperto do Noise Shield”.



**Figura 4.3** - Resultados da utilização do exo-esqueleto na "Cablagem do Portão" – 1ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba



**Figura 4.4** - Resultados da utilização do exo-esqueleto na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 1ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba



**Figura 4.5** - Resultados da utilização do exo-esqueleto no "Aperto do Noise Shield" – 1ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba

A “Cablagem do Portão” é a estação de trabalho onde mais operadores reconhecem a ajuda da utilização do exo-esqueleto na realização da atividade de trabalho.

A “Cablagem do Portão” e a “EPB/ Ligação Tubos Travão” são as estações de trabalho onde mais operadores consideram que o exo-esqueleto não perturba na realização das atividades de trabalho.

O “Aperto do Noise Shield”, é a estação de trabalho onde menos operadores consideram que a utilização do exo-esqueleto ajuda e não perturba na realização da atividade de trabalho.

Na “EPB/ Ligação Tubos Travão” e no “Aperto do Noise Shield” a percentagem de operadores que indica que a utilização do exo-esqueleto não perturba é superior à percentagem de operadores que indica que a utilização do exo-esqueleto ajuda. Significa, que uma pequena percentagem de operadores considera que apesar do exo-esqueleto não ajudar na realização das atividades de trabalho, não perturba a realização das mesmas.

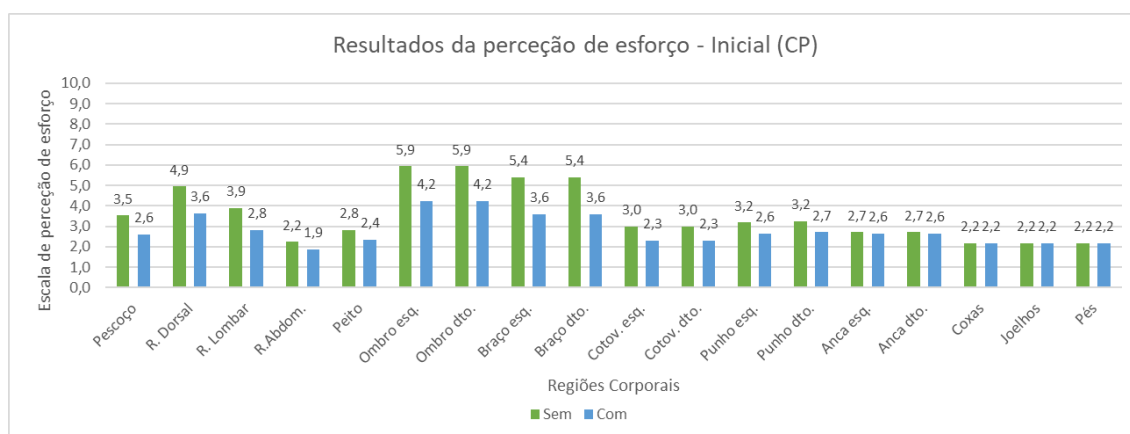
Em todas as estações de trabalho, o número de operadores que considera que a utilização do exo-esqueleto ajuda na realização das tarefas acima do nível do ombro é superior ao número de operadores que considera que a utilização do mesmo ajuda na realização das restantes tarefas.

Conclui-se que em todas as estações de trabalho os resultados foram positivos, no entanto a “Cablagem do Portão” é a estação trabalho onde mais operadores consideram que a utilização do exo-esqueleto melhora o desempenho na realização das atividades de trabalho.

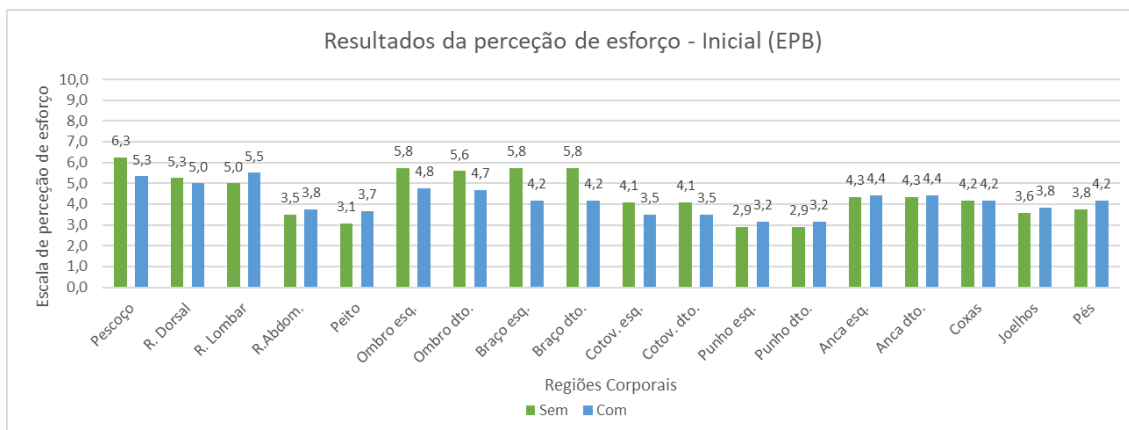
#### 4.3.2 Questionário de Usabilidade

Pelo Questionário de Usabilidade avalia-se a perceção de esforço, o desconforto, a perceção de utilidade, a perceção de facilidade de uso e a intenção de uso.

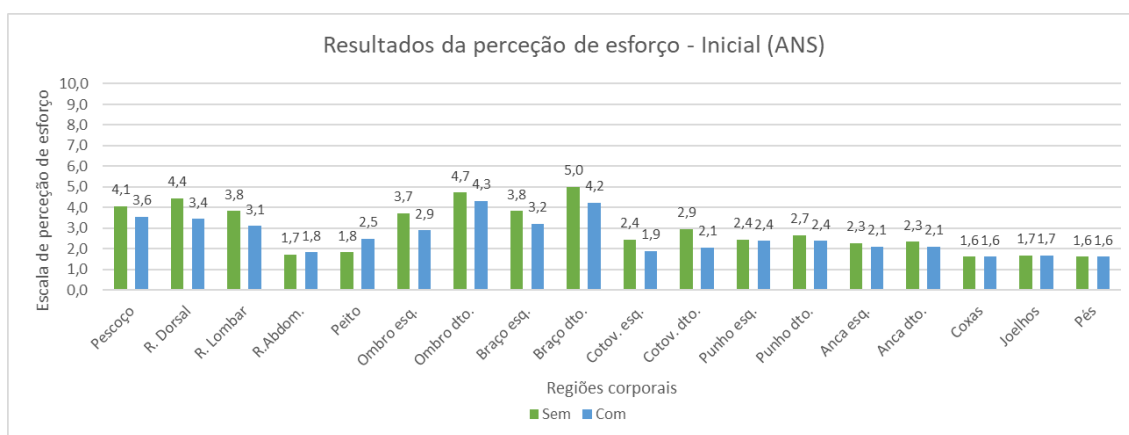
As **figuras 4.6, 4.7 e 4.8**, apresentam as médias da perceção de esforço indicadas em cada região corporal sem e com o exo-esqueleto, no primeiro dia de utilização.



**Figura 4.6** - Resultados da perceção de esforço no primeiro dia de utilização na "Cablagem do Portão" – 1ª Fase



**Figura 4.7** - Resultados da percepção de esforço no primeiro dia de utilização na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 1ª Fase



**Figura 4.8** - Resultados da percepção de esforço no primeiro dia de utilização no "Aperto do Noise Shield" – 1ª Fase

Com a utilização do exo-esqueleto, os maiores níveis de percepção de esforço são reportados no pescoço, na região dorsal, na região lombar, nos ombros e nos braços. Apesar de serem as regiões corporais onde a percepção de esforço é mais elevada, são também as regiões corporais que requerem uma maior exigência na realização das atividades de trabalho.

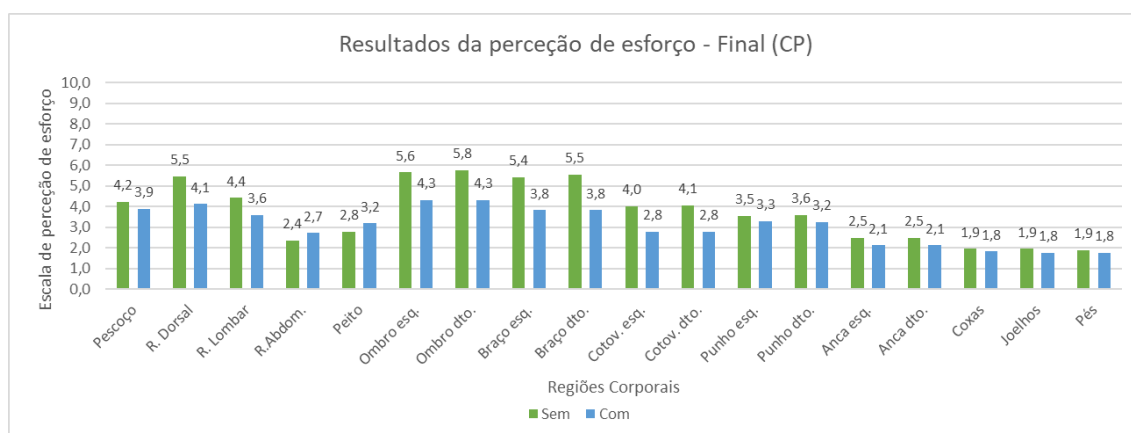
Na “Cablagem do Portão”, com a utilização do exo-esqueleto a percepção de esforço diminui em todas as regiões corporais. As regiões corporais onde ocorre uma maior variação da percepção de esforço são a região lombar, a região dorsal e os ombros.

Na “EPB/ Ligação Tubos Travão”, com a utilização do exo-esqueleto a percepção de esforço diminui no pescoço, na região dorsal, nos ombros, nos braços e nos cotovelos. Há um aumento da percepção de esforço para as restantes regiões corporais, à exceção da anca que não altera com a utilização do exo-esqueleto.

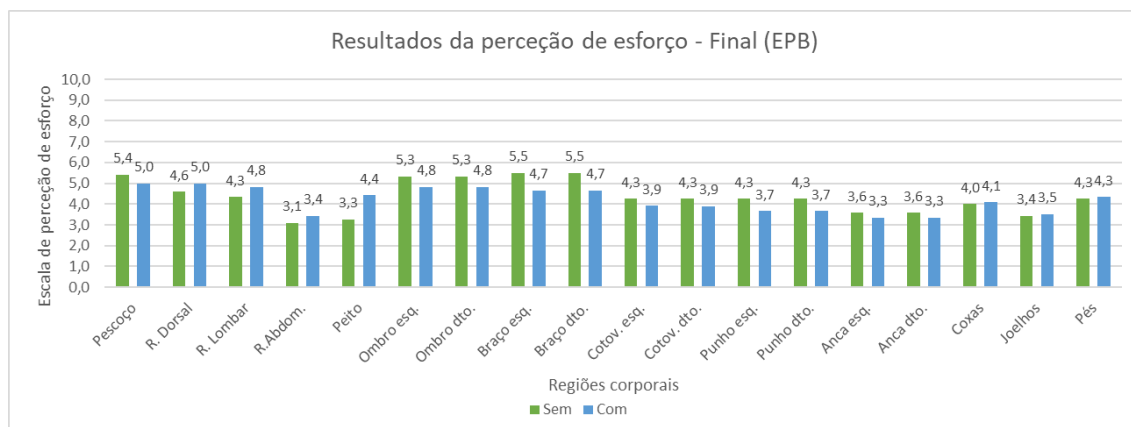
No “Aperto do Noise Shield” com a utilização do exo-esqueleto a percepção de esforço diminui em todas as regiões corporais, à exceção da região abdominal, do peito, do punho esquerdo e dos membros inferiores.

De um modo geral, conclui-se que apesar do aumento em determinadas regiões corporais, a percepção de esforço diminui nos membros superiores ao utilizar-se o exo-esqueleto.

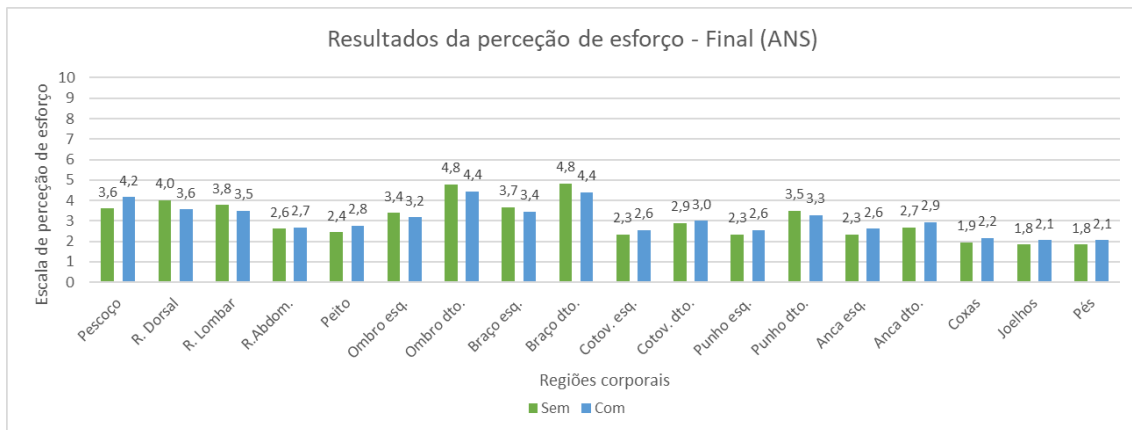
As **figuras 4.9, 4.10 e 4.11**, apresentam as médias da percepção de esforço indicadas em cada região corporal, sem e com o exo-esqueleto, no último dia de utilização.



**Figura 4.9** - Resultados da percepção de esforço no último dia de utilização na "Cablagem do Portão" – 1ª Fase



**Figura 4.10** - Resultados da percepção de esforço no último dia de utilização na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 1ª Fase



**Figura 4.11** - Resultados da percepção de esforço no último dia de utilização no "Aperto do Noise Shield" – 1ª Fase

Com a utilização do exo-esqueleto, os maiores níveis de percepção de esforço são reportados no pescoço, na região dorsal, na região lombar, nos ombros e nos braços. Apesar de serem as regiões corporais onde a percepção de esforço é mais elevada, são também as regiões corporais que requerem uma maior exigência para a realização das atividades de trabalho.

Na “Cablagem do Portão”, a percepção de esforço diminui em todas as regiões corporais, à exceção da região abdominal e do peito que aumenta com a utilização do exo-esqueleto. As regiões corporais onde ocorreu uma maior variação da percepção de esforço são a região dorsal e os membros superiores.

Na “EPB/ Ligação Tubos Travão”, com a utilização do exo-esqueleto a percepção de esforço diminui no pescoço, e nos membros superiores e aumenta nas restantes regiões corporais.

No “Aperto do Noise Shield”, com a utilização do exo-esqueleto a percepção de esforço diminui em todas as regiões corporais, à exceção do pescoço, da região abdominal, do peito, dos cotovelos e do punho esquerdo e membros inferiores.

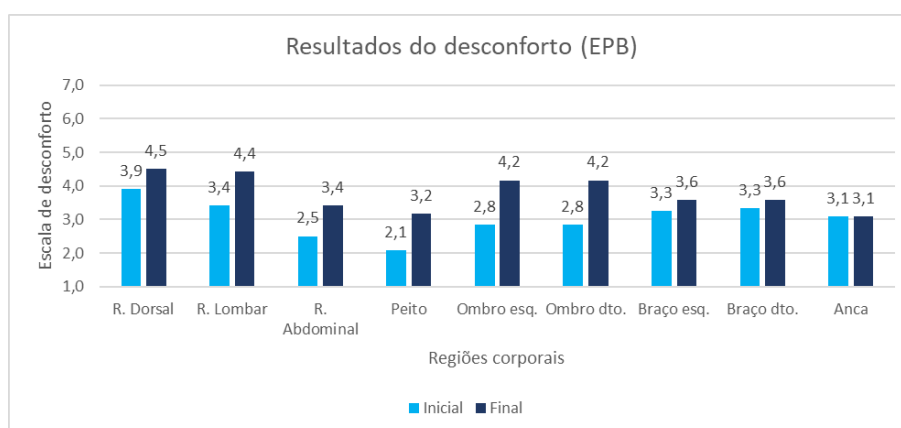
No primeiro dia, de um modo geral, ocorre uma diminuição na percepção de esforço nos membros superiores na utilização do exo-esqueleto. No entanto, no último dia de utilização, na “Cablagem do Portão” e na “EPB/ Ligação Tubos Travão”, os operadores continuam a manter essa percepção nos membros superiores, sendo que no “Aperto do Noise Shield”, os operadores indicam um aumento da percepção de esforço nos cotovelos e no punho esquerdo.

Considerando os resultados, o tempo de utilização do exo-esqueleto pode influenciar a percepção de esforço nas diferentes regiões corporais. De um modo geral, ao fim de quatro semanas de utilização do exo-esqueleto os operadores continuam a reconhecer o suporte dado aos membros superiores, principalmente nos ombros e nos braços.

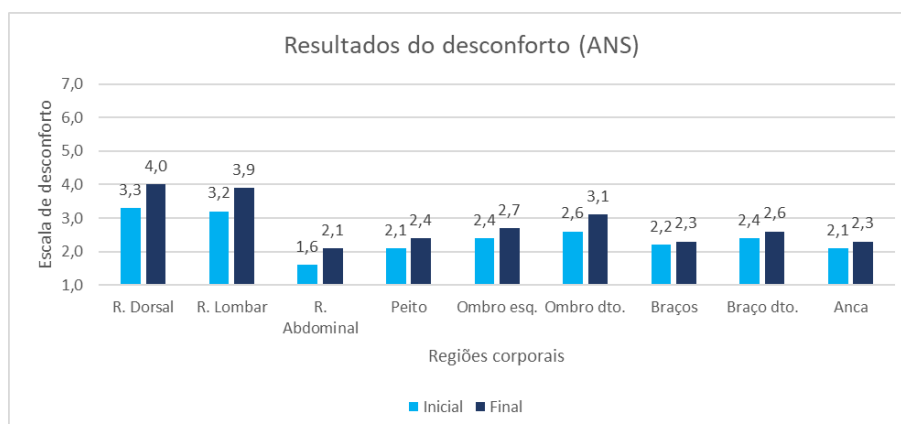
As **figuras 4.12, 4.13 e 4.14**, apresentam as médias do desconforto indicadas em cada região corporal que está em contacto com o exo-esqueleto, no primeiro (inicial) e no último (final) dia de utilização.



**Figura 4.12** - Resultados do desconforto no primeiro e último dia de utilização na "Cablagem do Portão" – 1ª Fase



**Figura 4.13** - Resultados do desconforto no primeiro e último dia de utilização na "EPB/ Ligação Tubos Travão " – 1ª Fase



**Figura 4.14** - Resultados do desconforto no primeiro e último dia de utilização no "Aperto do Noise Shield" – 1ª Fase

A região dorsal e a região lombar são as regiões corporais onde é percebido o maior desconforto.

O desconforto pode estar associado a um ou à combinação dos seguintes fatores: pressão, calor e fricção na pele.

Os operadores indicaram vários aspectos a melhorar relacionadas com o desconforto. O calor é o aspecto a melhorar identificado por mais operadores, ocorrendo com maior frequência na região dorsal, região lombar e na anca. Durante a realização das atividades de trabalho, o arnês do exo-esqueleto causa pressão na região dorsal, na região lombar e nos ombros. A limitação da amplitude dos movimentos pode causar desconforto na região dorsal, na região lombar, peito, ombros e braços. A fricção feita na pele devido às alças do exo-esqueleto, provoca desconforto nos ombros. O peso do exo-esqueleto é um aspecto a melhorar, que geralmente, é reportado quando o tempo de utilização do exo-esqueleto é superior a uma hora.

De um modo geral, o desconforto aumenta da primeira para a última utilização. Logo, o tempo de utilização do exo-esqueleto pode influenciar a percepção de desconforto do operador.

Conclui-se, que o calor, a pressão, a fricção, o peso e o tempo de utilização do exo-esqueleto são fatores que podem influenciar o desconforto.

As **tabelas 4.8, 4.9 e 4.10**, apresentam os resultados da percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e intenção de uso referidos no (a) primeiro (inicial) e (b) último (final) dia de utilização.

**Tabela 4.8** - Resultados da aceitação e intenção de uso na “Cablagem do Portão” – 1ª Fase: (a) Inicial (b) Final

Resultados do Questionário de Usabilidade (%) - CP								
Escala de Concordância	Discordo totalmente				Concordo totalmente			
	1	2	3	4	5	6	7	
Funcionalidade		11,8		11,8			76,4	
Fácil de usar		17,6		11,8			70,6	
Fácil de vestir e despir		17,6		23,5			58,9	
Acesso		11,8		0,0			88,2	
Usaria		11,8		11,8			76,4	

(a)

Resultados do Questionário de Usabilidade (%) - CP								
Escala de Concordância	Discordo totalmente				Concordo totalmente			
	1	2	3	4	5	6	7	
Funcionalidade		17,6		11,8			70,6	
Fácil de usar		11,8		23,5			64,7	
Fácil de vestir e despir		29,4		17,6			53,0	
Acesso		23,5		5,9			70,6	
Usaria		23,5		23,5			53,0	

(b)

**Tabela 4.9** - Resultados da aceitação e intenção de uso na “EPB/ Ligação Tubos Travão” – 1ª Fase: (a) Inicial (b) Final

Resultados do Questionário de Usabilidade (%) - EPB								
Escala de Concordância	Discordo totalmente				Concordo totalmente			
	1	2	3	4	5	6	7	
Funcionalidade		16,6		0,0			83,4	
Fácil de usar		16,6		41,7			41,7	
Fácil de vestir e despir		16,6		25,0			58,4	
Acesso		8,3		25,0			66,7	
Usaria		8,3		8,3			83,4	

(a)

Resultados do Questionário de Usabilidade (%) - EPB								
Escala de Concordância	Discordo totalmente				Concordo totalmente			
	1	2	3	4	5	6	7	
Funcionalidade		16,6		16,6			66,8	
Fácil de usar		25,0		33,3			41,7	
Fácil de vestir e despir		41,7		25,0			33,3	
Acesso		41,7		16,6			41,7	
Usaria		41,7		25,0			33,3	

(b)



**Tabela 4.10** - Resultados da aceitação e intenção de uso no "Aperto do Noise Shield" – 1ª Fase: (a) Inicial (b) Final

Resultados do Questionário de Usabilidade (%) - ANS							
Escala de Concordância	Discordo totalmente				Concordo totalmente		
	1	2	3	4	5	6	7
Funcionalidade		11,1		33,3		55,6	
Fácil de usar		11,1		22,2		66,7	
Fácil de vestir e despir		22,2		44,5		33,3	
Acesso		33,3		27,8		38,9	
Usaria		44,4		11,2		44,4	

(a)

Resultados do Questionário de Usabilidade (%) - ANS							
Escala de Concordância	Discordo totalmente				Concordo totalmente		
	1	2	3	4	5	6	7
Funcionalidade		50,0		5,6		44,4	
Fácil de usar		33,3		16,7		50,0	
Fácil de vestir e despir		50,0		11,1		38,9	
Acesso		27,8		27,8		44,4	
Usaria		44,4		16,7		38,9	

(b)

Ao fim de quatro semanas, 53% dos operadores da “Cablagem do Portão”, 33% dos operadores da “EPB/ Ligação Tubos Travão” e 39% dos operadores do “Aperto do Noise Shield” afirmam que usariam o exo-esqueleto.

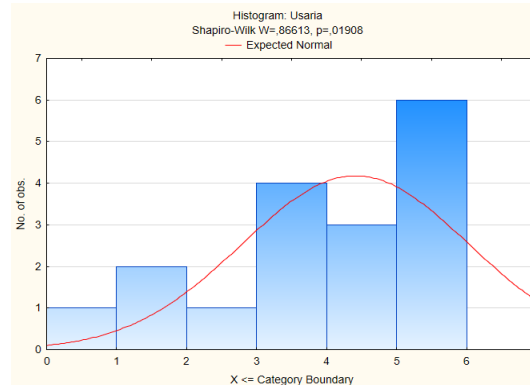
No “Aperto do Noise Shield” a percentagem de operadores que considera positiva a percepção de facilidade de uso ao vestir e despir o exo-esqueleto, aumenta no último dia de utilização. Esta situação pode ocorrer, por o exo-esqueleto envolver vários ajustes, que se não forem bem colocados, podem causar desconforto. Logo, os operadores ao ganharem experiência a vestir e despir o exo-esqueleto, com o passar do tempo, podem começar a considerá-lo mais fácil de vestir. Adicionalmente, nas restantes estações de trabalho há um aumento do número de operadores que não tem uma boa percepção de facilidade de uso ao vestir e despir. Esta situação pode ocorrer, por no primeiro dia o exo-esqueleto ser vestido com auxílio de outra pessoa e nos restantes dias os operadores vestirem-no sem auxílio.

De um modo geral, existe uma diminuição da percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso na realização das atividades e intenção de uso, do primeiro dia para o último dia de utilização. Conclui-se, que o tempo de utilização pode influenciar a aceitação e a intenção de uso do exo-esqueleto.

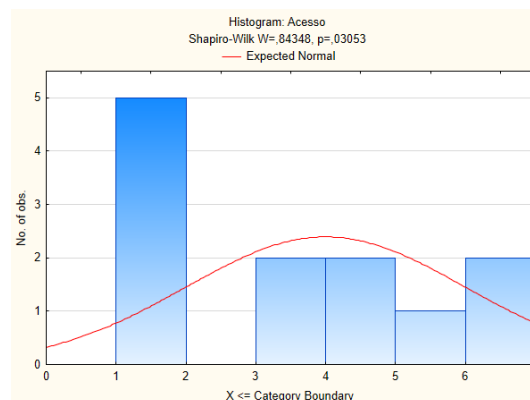
#### 4.3.3 Identificação de fatores que influenciam a aceitação e intenção de uso

A análise dos resultados obtidos permitiu identificar possíveis fatores que poderão influenciar a aceitação e intenção de uso dos operadores em relação à utilização do exo-esqueleto. Para verificar se esses fatores são significativos aplicam-se testes estatísticos. Para selecionar os testes estatísticos a aplicar é necessário verificar se as amostras são normalmente distribuídas.

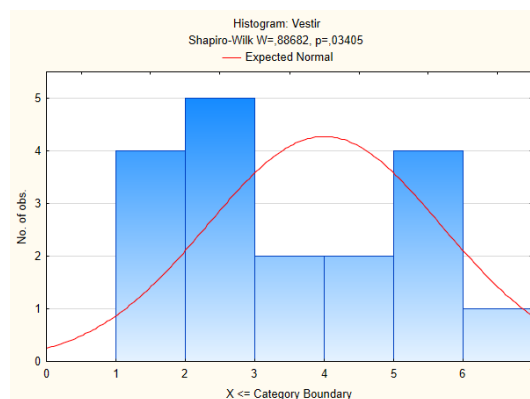
Para a amostra seguir uma distribuição normal o p-value (p), tem de ser superior ao nível de significância ( $\alpha=0,05$ ), caso contrário a amostra não segue uma distribuição normal. As **figuras 4.15, 4.16 e 4.17**, apresentam os histogramas que verificam a normalidade da distribuição de cada amostra.



**Figura 4.15** - Verificação da distribuição amostral da “Cablagem do Portão” – 1ª Fase



**Figura 4.16** - Verificação da distribuição amostral da “EPB/ Ligação Tubos Travão” – 1ª Fase



**Figura 4.17** - Verificação da distribuição amostral do “Aperto do Noise Shield” – 1ª Fase

A **tabela 4.11** apresenta os resultados obtidos na verificação da distribuição amostral da “Cablagem do Portão” (CP), da “EPB/ Ligação Tubos Travão” (EPB) e do “Aperto do Noise Shield” (ANS).

**Tabela 4.11** - Verificação da distribuição da amostra – 1ª Fase

Verificação da distribuição amostral			
Estação	CP	EPB	ANS
N	17	12	18
p	0,01908	0,03053	0,03405
D. Normal	Não segue	Não segue	Não segue

Como as amostras não seguem uma distribuição normal, são aplicados os testes-não paramétricos, nomeadamente, o coeficiente de correlação de Spearman e o teste de Wilcoxon.

Para verificar as variáveis que se correlacionam e a diferença entre as mesmas, consideram-se como variáveis as regiões corporais analisadas na perceção de esforço e no desconforto e as questões relacionadas com a perceção de utilidade, a perceção de facilidade de uso e a intenção de uso.

As variáveis da perceção de esforço denominam-se abreviadamente por “PE.” e o nome da região corporal respetiva. As variáveis do desconforto denominam-se abreviadamente por “D.” e o nome da região corporal respetiva.

As variáveis relacionadas com a aceitação e intenção de uso, denominam-se abreviadamente por:

- “Funcionalidade” – questão relacionada com a perceção de utilidade;
- “Fácil Usar” e “Vestir” – questões relacionadas com a perceção de facilidade de uso;
- “Acesso” e “Usaria” – questões relacionadas com a intenção de uso.

Analisam-se quais as regiões corporais na perceção de esforço e no desconforto que estão relacionadas com a aceitação e intenção de uso e como as variáveis da aceitação e intenção de uso se relacionam entre si. Quanto mais próximo o coeficiente de correlação de Spearman ( $\rho$ ) for de (-1) ou (+1), maior é a correlação entre as variáveis.

As **tabelas 4.12, 4.13 e 4.14**, apresentam as variáveis que se correlacionam nas diferentes amostras, do lado esquerdo as que se correlacionam negativamente e do lado direito, as que se correlacionam positivamente.

**Tabela 4.12** - Correlação entre as variáveis da “Cablagem do Portão” – 1ª Fase

<b>Correlação entre as variáveis da “Cablagem do Portão”</b>			
<b>Negativamente correlacionados</b>		<b>Positivamente correlacionados</b>	
<b>Combinação</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>Combinação</b>	<b><math>\rho</math></b>
Funcionalidade e PE. Dorsal	-0,5036	Funcionalidade e Fácil Usar	0,7638
Funcionalidade e PE. Ombros	-0,7629	Funcionalidade e Acesso	0,7130
Funcionalidade e PE. Braços	-0,7372	Fácil Usar e Vestir	0,6828
Funcionalidade e D. Abdominal	-0,6089	Fácil Usar e Acesso	0,5227
Funcionalidade e D. Peito	-0,7614	Usaria e Funcionalidade	0,5194
Funcionalidade e D. Ombros	-0,6806	Usaria e Acesso	0,8964
Fácil Usar e D. Peito	-0,7531		
Acesso e D. Abdominal	-0,7056		
Acesso e D. Peito	-0,6176		

**Tabela 4.13** - Correlação entre as variáveis da “EPB/ Ligação Tubos Travão” – 1ª Fase

<b>Correlação entre as variáveis da “EPB/ Ligação Tubos Travão”</b>			
<b>Negativamente correlacionados</b>		<b>Positivamente correlacionados</b>	
<b>Combinação</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>Combinação</b>	<b><math>\rho</math></b>
Funcionalidade e D. Braços	-0,8654	Funcionalidade e Fácil Usar	0,6158
Fácil Usar e PE. Dorsal	-0,6185	Funcionalidade e Acesso	0,6160
Fácil Usar e PE. Lombar	-0,6185	Funcionalidade e Usaria	0,6873
Fácil Usar e D. Ombros	-0,6527	Fácil Usar e Vestir	0,6557
Vestir e PE. Dorsal	-0,8076	Fácil Usar e Acesso	0,8061
Vestir e PE. Lombar	-0,6529	Fácil Usar e Usaria	0,7004
Vestir e PE. Ombros	-0,7709	Vestir e Acesso	0,6570
Vestir e PE. Cotovelos	-0,5779	Acesso e Usaria	0,8915
Acesso e PE. Dorsal	-0,6799		
Acesso e PE. Lombar	-0,5933		
Acesso e PE. Ombros	-0,6575		
Acesso e D. Ombros	-0,7469		
Acesso e D. Braços	-0,6546		
Usaria e PE. Dorsal	-0,5954		
Usaria e PE. Ombros	-0,6202		
Usaria e D. Ombros	-0,6257		
Usaria e D. Braços	-0,6758		

**Tabela 4.14** - Correlação entre as variáveis do “Aperto do Noise Shield – 1ª Fase

<b>Correlação entre as variáveis do “Aperto do Noise Shield”</b>			
<b>Negativamente correlacionados</b>		<b>Positivamente correlacionados</b>	
<b>Combinação</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>Combinação</b>	<b><math>\rho</math></b>
Funcionalidade e D. Braço esq.	-0,5199	Funcionalidade e Fácil Usar	0,7305
Fácil Usar e PE. Abdominal	-0,5981	Funcionalidade e Vestir	0,7916
Fácil Usar e PE. Peito	-0,6160	Funcionalidade e Usaria	0,7016
Fácil Usar e PE. Ombro dto.	-0,5069	Vestir e Fácil Usar	0,7578
Fácil Usar e D. Dorsal	-0,6024	Vestir e Acesso	0,6422
Fácil Usar e D. Lombar	-0,6596	Vestir e Usaria	0,5200
Fácil Usar e D. Ombro esq.	-0,5049	Acesso e Usaria	0,7175
Fácil Usar e D. Ombro dto.	-0,5591		
Fácil Usar e D. Braço esq.	-0,6495		
Fácil Usar e D. Braço dto.	-0,6876		
Fácil Usar e D. Peito	-0,5323		
Fácil Usar e D. Anca	-0,6578		
Vestir e D. Ombro esq.	-0,5366		
Vestir e D. Ombro dto.	-0,5469		
Vestir e D. Braço esq.	-0,6602		
Vestir e D. Braço dto.	-0,5886		

Do lado esquerdo das tabelas, apresentam-se as correlações negativas entre as variáveis da aceitação e intenção de uso com a percepção de esforço e o desconforto ao utilizar o exo-esqueleto.

Do lado direito das tabelas, apresentam-se as correlações positivas entre as variáveis da aceitação e intenção de uso, *i.e.*, a percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e intenção de uso.

Na “Cablagem do Portão” o desconforto em determinadas regiões corporais correlaciona-se com a percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e intenção de uso. A percepção de esforço correlaciona-se com a percepção de utilidade. Nomeadamente a percepção de utilidade correlaciona-se com a percepção de facilidade de uso e a intenção de uso. Conclui-se que quanto menor a percepção de esforço e desconforto, maior é a percepção de utilidade. Adicionalmente quanto maior for a percepção de utilidade, maior será a percepção de facilidade de uso e a intenção de uso.

Na “EPB/ Ligação Tubos Travão” o desconforto e a percepção de esforço em determinadas regiões corporais correlacionam-se com a percepção de facilidade de uso e a intenção de uso. A percepção de utilidade está relacionada com o desconforto, a percepção de facilidade de uso e a intenção de uso. Por sua vez, a percepção de facilidade de uso também se correlaciona com a intenção de uso. Conclui-se que quanto menor for a percepção de esforço e o desconforto, e quanto maior for a percepção de utilidade e facilidade de uso, maior será a intenção de uso.

No “Aperto do Noise Shield” o desconforto e a percepção de esforço em determinadas regiões corporais correlacionam-se com a percepção de utilidade e de facilidade de uso. Significa que quanto menor for o desconforto e a percepção de esforço, maior é a percepção de utilidade e de facilidade de uso. A percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e intenção de uso, estão

correlacionadas entre si. Conclui-se que quanto maior for a percepção de utilidade e facilidade de uso, maior será a intenção de uso.

Conclui-se que o aumento da percepção de esforço e do desconforto são fatores que podem influenciar a percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e a intenção de uso. Adicionalmente, como verificado no *Technology Acceptance Model* (Davis, 1985), a percepção da facilidade de uso pode influenciar a percepção de utilidade e ambas podem influenciar a intenção de uso do exo-esqueleto.

As variáveis da percepção de esforço, sem e com o exo-esqueleto, são comparadas de modo a verificar se existe uma diferença significativa na percepção de esforço ao utilizar o exo-esqueleto.

A **tabela 4.15** apresenta as regiões corporais onde a diferença de percepção de esforço com a utilização do exo-esqueleto é significativa na “Cablagem do Portão” (CP), na “EPB/ Ligação Tubos Travão” (EPB) e no “Aperto do Noise Shield” (ANS).

**Tabela 4.15** - Verificação de diferenças significativas na percepção de esforço sem e com o exo-esqueleto – 1ª Fase

Diferenças significativas na percepção de esforço sem e com o exo-esqueleto					
CP		EPB		ANS	
Variável	<i>p-value</i>	Variável	<i>p-value</i>	Variável	<i>p-value</i>
R. Dorsal	0,038	-	-	Pescoço	0,028
Braços	0,030				
Cotovelos	0,028				

Na “Cablagem do Portão” existe uma diminuição significativa da percepção de esforço na região dorsal, braços e cotovelos ao utilizar o exo-esqueleto. Como verificado anteriormente, a percepção de esforço na região dorsal e nos braços relaciona-se significativamente com a percepção de utilidade, que por sua vez, é um fator que pode influenciar a intenção de uso.

Na “EPB/ Ligação Tubos de Travão”, as diferenças na percepção de esforço não são significativas.

No “Aperto do Noise Shield” existe um aumento significativo na percepção de esforço no pescoço ao utilizar o exo-esqueleto. Como verificado anteriormente, a percepção de esforço na região abdominal, no peito e no ombro direito relacionam-se com a percepção de utilidade, mas a percepção de esforço no pescoço não se relaciona significativamente com nenhuma variável. Conclui-se, que nesta estação de trabalho, apesar do aumento da percepção de esforço no pescoço ser significativo com a utilização do exo-esqueleto, não é um fator significativo para influenciar a aceitação e intenção de uso.

Como concluído por Huysamen e colaboradores (2018), o exo-esqueleto não tem efeitos significativos na percepção de esforço dos membros inferiores. O efeito significativo na percepção de esforço apenas ocorre nos membros superiores e no tronco.

As variáveis dos Questionários de Usabilidades aplicados no primeiro e no último dia de utilização foram comparadas, de modo a verificar se alteram com o aumento do tempo de utilização do exo-esqueleto.

A **tabela 4.16** apresenta as regiões corporais onde a diferença entre a primeira e a última utilização é significativa para cada amostra, nomeadamente na “Cablagem do Portão” (CP), na “EPB/ Ligação Tubos Travão” (EPB) e no “Aperto do Noise Shield” (ANS).

**Tabela 4.16** - Verificação de diferenças significativas entre a primeira e a última utilização – 1ª Fase

Diferenças significativas entre a primeira e última utilização					
CP		EPB		ANS	
Variável	<i>p-value</i>	Variável	<i>p-value</i>	Variável	<i>p-value</i>
PE. Pescoço	0,021	D. Lombar	0,036	PE. Cotov. dto.	0,019
		D. Ombros	0,033	PE. Anca dto.	0,046
		Usaria	0,012	D. Dorsal	0,041
				D. Lombar	0,021
				Funcionalidade	0,009
				Fácil Usar	0,014

Na “Cablagem do Portão” apesar da diminuição da percepção de esforço ao utilizar o exo-esqueleto, existe um aumento significativo na percepção de esforço no pescoço, do primeiro para o último dia de utilização.

Na “EPB/ Ligação Tubos Travão” existe um aumento significativo do desconforto na região lombar e nos ombros e a intenção de uso do exo-esqueleto diminui significativamente, do primeiro para o último dia de utilização.

No “Aperto do Noise Shield” existe um aumento significativo da percepção de esforço com a utilização do exo-esqueleto no cotovelo direito e no lado direito da anca e do desconforto na região dorsal e região lombar. Adicionalmente, ocorre uma diminuição significativa na percepção de utilidade e percepção de facilidade de uso, do primeiro para o último dia de utilização.

Tal como no estudo realizado com um exo-esqueleto de suporte do tronco (Hensel & Keil, 2019), verifica-se que o tempo de utilização é um fator que pode influenciar o desconforto, a percepção de utilidade, a percepção de facilidade de uso e a intenção de uso. Adicionalmente, conclui-se que a percepção de esforço também pode ser influenciada pelo tempo de utilização.

Deste modo conclui-se, que a percepção de esforço, o desconforto, como por exemplo, calor, pressão, fricção na pele e peso, a percepção de utilidade, a percepção de facilidade de uso e o tempo de utilização são fatores que podem influenciar significativamente a aceitação e intenção de uso do exo-esqueleto.

## 4.4 Alteração do Protocolo Revisto

No Questionário de Usabilidade, adiciona-se uma nova questão, apresentada no **Anexo G**, para proceder à comparação entre os exo-esqueletos, Skelex Mark 1.3® e Skelex 360®.

Para cada estação de trabalho foram assinaladas as características a melhorar reportadas com maior frequência pelos operadores, apresentadas na **tabela 4.17**.

**Tabela 4.17** - Características reportadas com maior frequência em cada estação de trabalho

Características reportadas com maior frequência	CP	EPB	ANS
1. Liberdade de movimentos	×	×	×
2. Liberdade de movimentos (MPV)	×		
3. Calor	×	×	×
4. Fricção na pele	×	×	×
5. Conforto das braçadeiras	×	×	×
6. Peso	×	×	×
7. Pegar objetos de superfícies baixas		×	×
8. Colidir		×	
9. Prender nas cablagens		×	

As características reportadas com maior frequência como aspetos a melhorar foram:

1. **Liberdade de movimentos:** as tarefas dinâmicas implicam que o operador realize movimentos rápidos, sendo indicados aspetos a melhorar relacionados com o desconforto provocado pela limitação da amplitude dos movimento do exo-esqueleto.
2. **Liberdade de movimentos (MPV):** na “Cablagem do Portão”, na realização da passagem do saco da cablagem pelo portão traseiro, é necessário realizar movimentos rápidos. A amplitude de movimento do Skelex Mark 1.3® não permite realizar a tarefa sem causar pressão na zona de contacto entre a braçadeira e o corpo do operador.
3. **Calor:** os operadores reportaram aspetos a melhorar relativamente ao calor excessivo provocado pela utilização do exo-esqueleto. As áreas de contacto referidas com maior frequência foram a região dorsal, a região lombar e os braços.
4. **Fricção na pele:** as tarefas implicam a realização de flexão, extensão, abdução e adução dos ombros sucessivas vezes ao longo dos ciclos de trabalho. Com o passar do tempo, os operadores indicaram aspetos a melhorar relacionados com irritação na pele devido à fricção feita entre as alças do exo-esqueleto e a farda. Esta fricção ocorre devido ao tipo de tecido do exo-esqueleto e da farda de trabalho e da temperatura ambiente.
5. **Conforto das braçadeiras:** o Skelex Mark 1.3® permite a regulação do tamanho das braçadeiras através de um elástico, mas os operadores reportaram desconforto em relação ao calor, fricção e pressão provocados pelo ajuste.



6. **Peso:** com o aumento gradual do tempo de utilização do exo-esqueleto, a partir de uma hora de utilização os operadores reportavam alívio ao retirar o Skelex Mark 1.3® devido ao seu peso.
7. **Pegar objetos de superfícies baixas:** quando é necessário o operador baixar-se, é reportado desconforto devido à pressão efetuada na região dorsal e lombar.
8. **Colidir:** os operadores ao estarem a trabalhar muito próximos, a dimensão do exo-esqueleto proporciona receio de colidirem com os colegas ou até mesmo com os objetos circundantes.
9. **Prender nas cablagens:** na “EPB/ Ligação Tubos Travão” as tarefas são realizadas debaixo do carro e quando as cablagens estão suspensas, ocasionalmente as cablagens ficam presas no exo-esqueleto.

## 4.5 2ª Fase

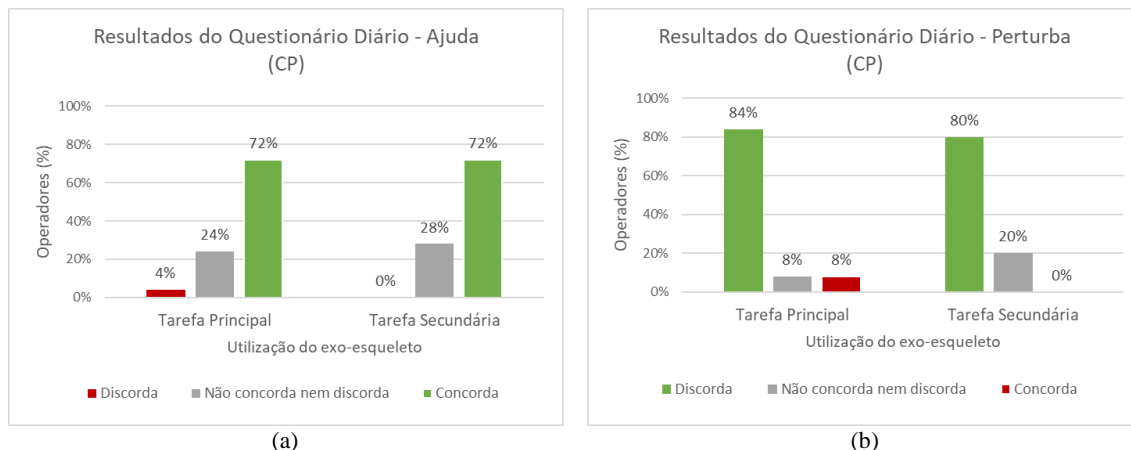
A 2ª Fase decorreu na “Cablagem do Portão” (CP), na “EPB/ Ligação Tubos Travão” (EPB) e no “Aperto do Noise Shield” (ANS). A **tabela 4.18** apresenta o número de operadores que cumpriam os critérios para participar no estudo.

**Tabela 4.18** - Amostra – 2ª Fase

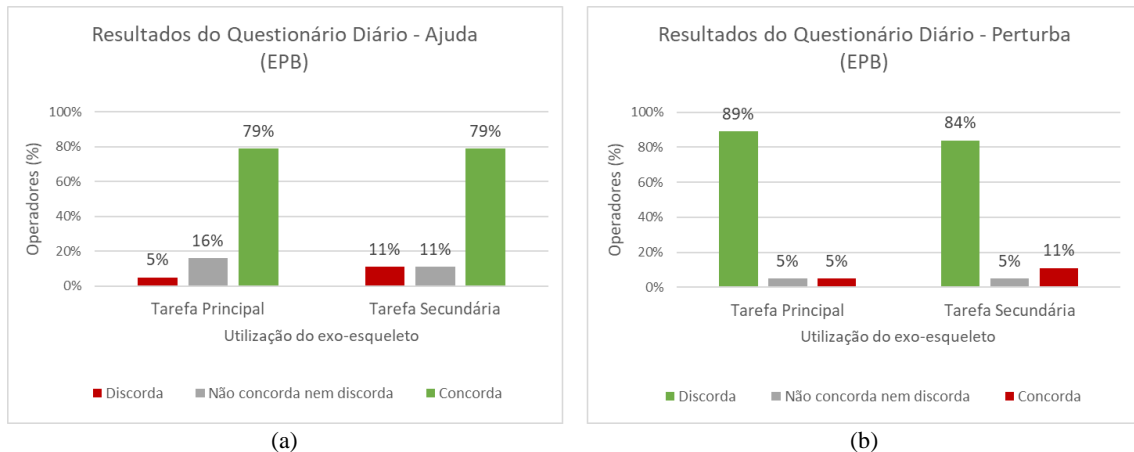
Amostra			
Estação	CP	EPB	ANS
Operadores	13	9	13

### 4.5.1 Questionário Diário

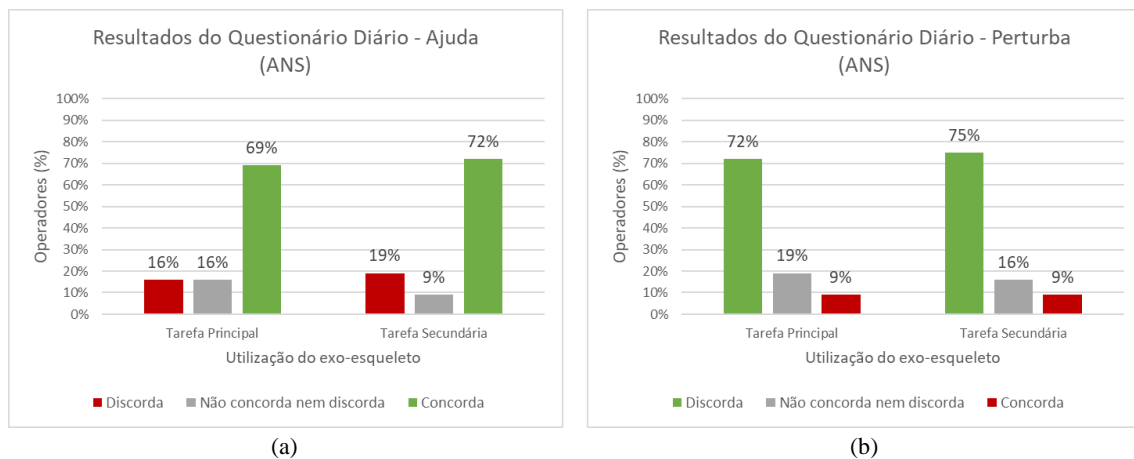
As **figuras 4.18, 4.19 e 4.20** apresentam a percentagem de operadores que concordam que a utilização do exo-esqueleto (a) ajuda ou (b) perturba na realização das suas atividades de trabalho, na “Cablagem do Portão”, na “EPB/ Ligação Tubos Travão” e no “Aperto do Noise Shield”.



**Figura 4.18** - Resultados da utilização do exo-esqueleto na "Cablagem do Portão" – 2ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba



**Figura 4.19** - Resultados da utilização do exo-esqueleto na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 2ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba



**Figura 4.20** - Resultados da utilização do exo-esqueleto no "Aperto do Noise Shield" – 2ª Fase: (a) Ajuda (b) Perturba

A “EPB/ Ligação Tubos Travão” é a estação de trabalho onde mais operadores reconhecem a ajuda da utilização do exo-esqueleto na realização da atividade de trabalho.

A “Cablagem do Portão” e a “EPB/ Ligação Tubos Travão” são as estações de trabalho onde mais operadores consideram que o exo-esqueleto não perturba na realização das atividades de trabalho.

O “Aperto do Noise Shield” é a estação de trabalho onde menos operadores consideram que a utilização do exo-esqueleto ajuda e não perturba na realização das tarefas acima do nível do ombro. A percentagem de operadores que considera que a utilização do exo-esqueleto ajuda na realização das tarefas acima do nível do ombro é ligeiramente inferior à percentagem de operadores que considera que a utilização do mesmo ajuda na realização das restantes tarefas.

Em todas as estações de trabalho, a percentagem de operadores que indica que a utilização do exo-esqueleto não perturba, é superior à percentagem de operadores que indica que a utilização do exo-esqueleto ajuda. Logo, uma pequena percentagem de operadores considera que apesar do

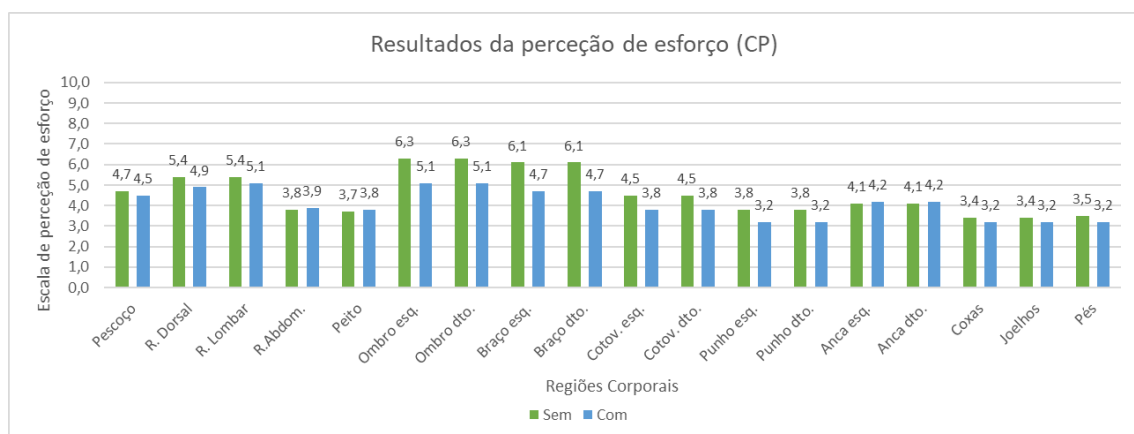
exo-esqueleto não ajudar na realização das atividades de trabalho, não perturba na realização das mesmas.

Conclui-se que em todas as estações de trabalho os resultados foram positivos relativamente ao desempenho do exo-esqueleto na realização das tarefas, mas o “Aperto do Noise Shield” continua a ser a estação de trabalho onde menos operadores consideram que a utilização do exo-esqueleto melhora o desempenho na realização das atividades de trabalho.

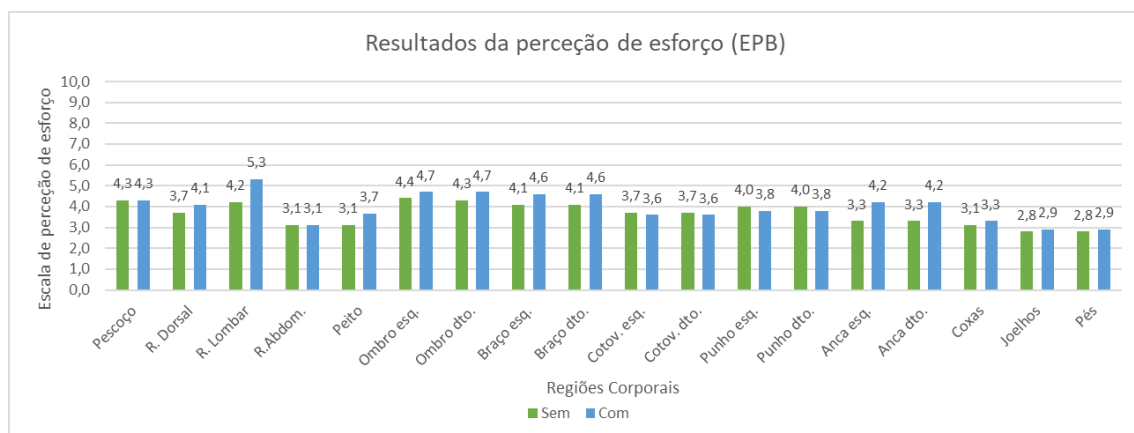
#### 4.5.2 Questionário de Usabilidade

Pelo Questionário de Usabilidade avalia-se a perceção de esforço, o desconforto, a perceção de utilidade, a perceção de facilidade de uso e a intenção de uso.

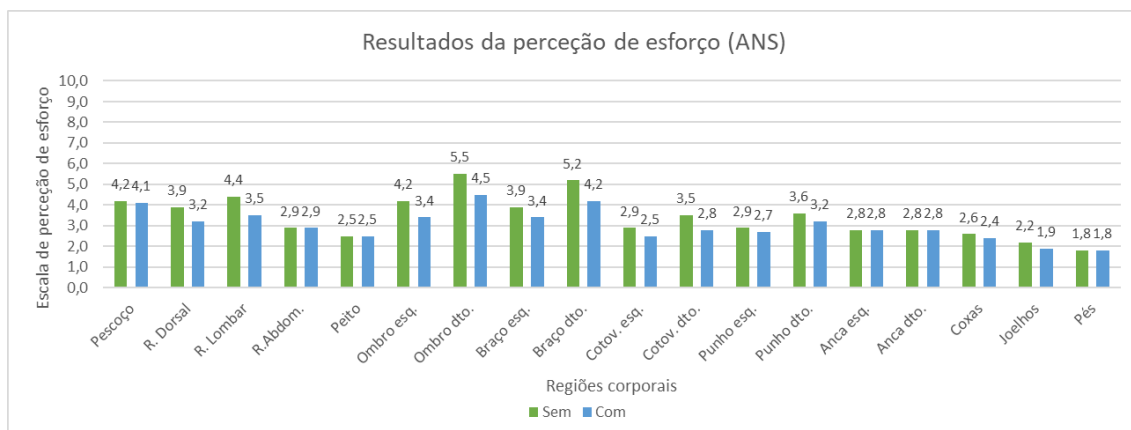
As **figuras 4.21, 4.22 e 4.23**, apresentam as médias da perceção de esforço indicadas em cada região corporal sem e com o exo-esqueleto, no primeiro dia de utilização.



**Figura 4.21** - Resultados da perceção de esforço na "Cablagem do Portão" – 2ª Fase



**Figura 4.22** - Resultados da perceção de esforço na "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 2ª Fase



**Figura 4.23** - Resultados da percepção de esforço no “Aperto do Noise Shield” – 2ª Fase

Com a utilização do exo-esqueleto, o peito, a região abdominal e os membros inferiores são as regiões corporais onde a percepção de esforço é menor. No entanto, são as regiões corporais onde a percepção de esforço é mais baixa, sendo também as regiões corporais que requerem uma menor exigência para a realização das atividades de trabalho.

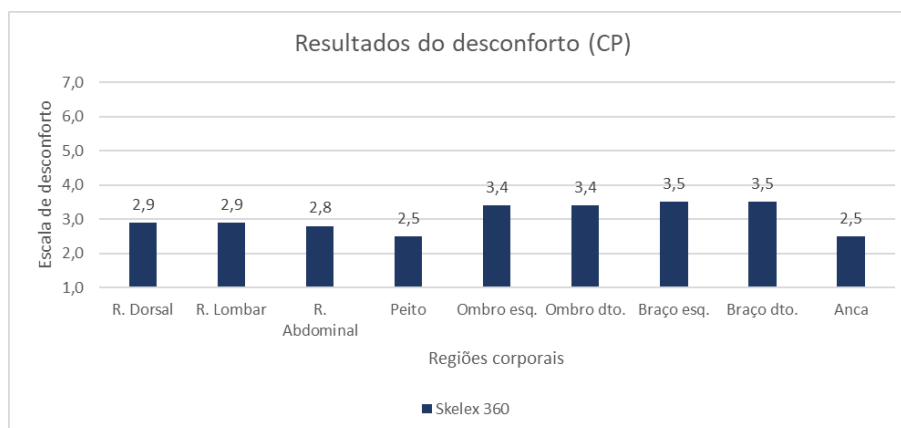
Na “Cablagem do Portão”, com a utilização do exo-esqueleto a percepção de esforço diminui em todas as regiões corporais, à exceção da região abdominal, peito e anca. Os ombros e os braços são as regiões corporais onde, em média, a diminuição da percepção de esforço com a utilização do exo-esqueleto é maior.

Na “EPB/ Ligação Tubos Travão”, com a utilização do exo-esqueleto a percepção de esforço diminui apenas nos cotovelos. Existe um aumento da percepção de esforço para as restantes regiões corporais, à exceção do pescoço e da região abdominal, que não alteram com a utilização do exo-esqueleto. A região lombar e a anca são as regiões corporais onde, em média, o aumento da percepção de esforço é maior.

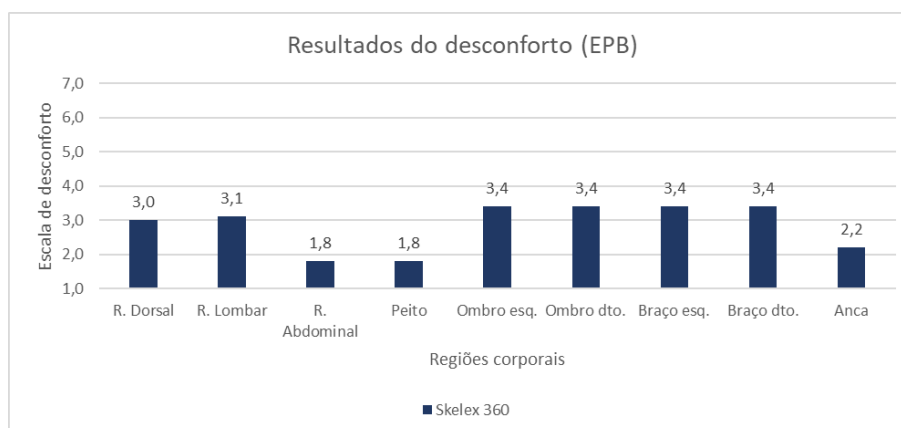
No “Aperto do Noise Shield”, com a utilização do exo-esqueleto a percepção de esforço diminui em todas as regiões corporais, à exceção da região abdominal, peito, anca e pés, em que a percepção de esforço não altera. O ombro direito, o braço direito e a região lombar são as regiões corporais onde, em média, a diminuição da percepção de esforço com a utilização do exo-esqueleto é maior.

Apesar do aumento da percepção de esforço em determinadas regiões corporais, existe uma diminuição nos membros superiores, na “Cablagem do Portão” e no “Aperto do Noise Shield”. Conclui-se, que nestas estações de trabalho, os operadores reconhecem o suporte dado pelo exo-esqueleto aos membros superiores na realização das atividades de trabalho.

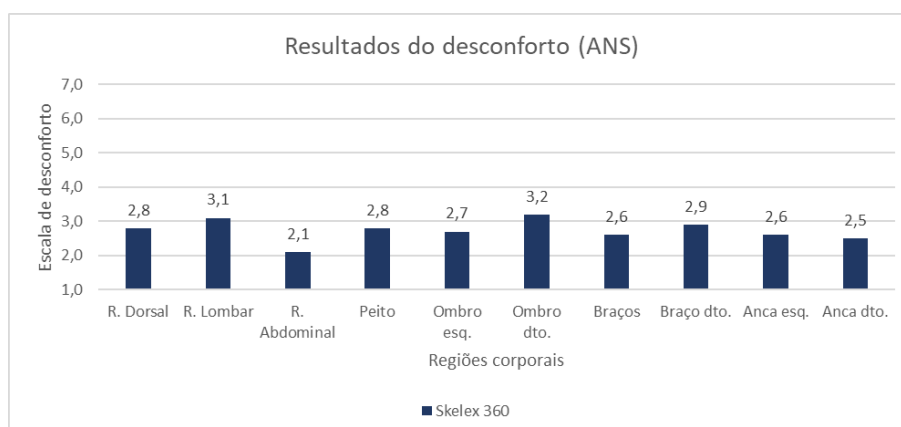
As **figuras 4.24, 4.25 e 4.26**, apresentam as médias do desconforto indicadas em cada região corporal que está em contacto com o exo-esqueleto Skelex 360®.



**Figura 4.24** - Resultados do desconforto na "Cablagem do Portão " – 2ª Fase



**Figura 4.25** - Resultados do desconforto na "EPB/ Ligação Tubos Travão " – 2ª Fase



**Figura 4.26** - Resultados do desconforto no "Aperto do Noise Shield " – 2ª Fase

Na “Cablagem do Portão” e na “EPB/ Ligação Tubos Travão”, os ombros e os braços, são as regiões corporais onde, em média, o desconforto é maior.

No “Aperto do Noise Shield” a região lombar e o ombro direito, são as região corporais onde a percepção de desconforto é maior. Nesta estação de trabalho, 85% dos operadores considera a mão direita a sua mão dominante. O desconforto reportado é superior nos membros superiores do lado direito e do lado esquerdo da anca. De um modo geral, as tarefas realizadas com a mão esquerda são diferentes das tarefas realizadas com a mão direita. Esta diversidade de tarefas pode implicar uma postura em que se sinta maior desconforto, como por exemplo pressão em determinadas regiões corporais.

O desconforto pode estar associado a um ou à combinação dos seguintes fatores: pressão, calor, e fricção e irritação na pele.

Os operadores indicaram vários aspetos a melhorar relacionados com o desconforto. O calor é o aspeto a melhorar indicado com maior frequência. No entanto, a pressão, a fricção na pele e o calor provocados pelas braçadeiras também são reportados por vários operadores.

Os operadores do “Aperto do Noise Shield” indicaram aspetos a melhorar relacionados com o peso do exo-esqueleto. De um modo geral, esta indicação ocorreu quando o tempo de utilização do exo-esqueleto começou a ser superior a uma hora.

Conclui-se, que o calor, a pressão, a fricção e o peso continuam a ser fatores que influenciam o desconforto.

As **tabelas 4.19, 4.20 e 4.21**. apresentam os resultados da percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e intenção de uso.

**Tabela 4.19** - Resultados da aceitação e intenção de uso na “Cablagem do Portão” – 2ª Fase

Resultados do Questionário de Usabilidade (%) - CP							
Escala de Concordância	Discordo totalmente				Concordo totalmente		
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Funcionalidade</b>	7,7			15,4	76,9		
<b>Fácil de usar</b>	7,7			15,4	76,9		
<b>Fácil de vestir e despir</b>	15,4			7,7	76,9		
<b>Acesso</b>	15,4			15,4	69,2		
<b>Usaria</b>	15,4			15,4	69,2		

**Tabela 4.20** - Resultados da aceitação e intenção de uso na “EPB/ Ligação Tubos Travão” – 2ª Fase

Resultados do Questionário de Usabilidade (%) - EPB							
Escala de Concordância	Discordo totalmente				Concordo totalmente		
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Funcionalidade</b>	33,3			11,1	55,6		
<b>Fácil de usar</b>	11,1			0,0	88,9		
<b>Fácil de vestir e despir</b>	11,1			33,3	55,6		
<b>Acesso</b>	22,2			55,6	22,2		
<b>Usaria</b>	33,3			22,3	44,4		

**Tabela 4.21** - Resultados da aceitação e intenção de uso no “Aperto do Noise Shield” – 2ª Fase

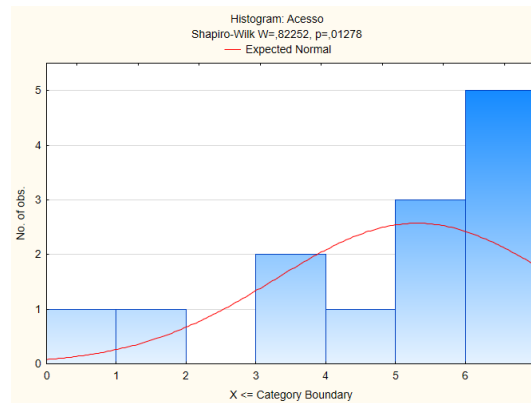
Resultados do Questionário de Usabilidade (%) - ANS							
Escala de Concordância	Discordo totalmente				Concordo totalmente		
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Funcionalidade</b>	30,7			23,1	46,2		
<b>Fácil de usar</b>	23,1			23,1	53,8		
<b>Fácil de vestir e despir</b>	23,1			15,4	61,5		
<b>Acesso</b>	46,2			23,1	30,7		
<b>Usaria</b>	46,2			15,4	38,4		

A percentagem de operadores que considera a percepção de utilidade e facilidade de uso positiva, é superior à percentagem de operadores que usaria o exo-esqueleto. Conclui-se que apesar de os operadores reconhecerem que a utilização do exo-esqueleto pode aumentar o desempenho na realização das atividades e considerarem-no fácil de vestir e usar, podem não ser fatores suficientes para quererem utilizar o exo-esqueleto.

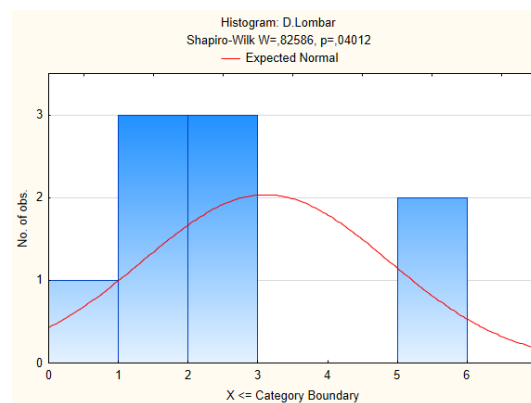
Ao fim de duas semanas, 69% dos participantes na “Cablagem do Portão”, 44% dos participantes na “EPB/ Ligação Tubos Travão” e 38% dos participantes no “Aperto do Noise Shield” afirmaram que usariam o exo-esqueleto. A “Cablagem do Portão” é a estação de trabalho onde mais operadores afirmam que usariam o exo-esqueleto. No entanto, na “EPB/ Ligação Tubos Travão” e no “Aperto do Noise Shield” os resultados são contraditórios, sendo que a percentagem de operadores que afirma que usaria o exo-esqueleto é inferior à percentagem de operadores que afirma que gostaria de ter acesso ao exo-esqueleto no seu posto de trabalho. Conclui-se que a “Cablagem do Portão” é a estação de trabalho onde os resultados da intenção de uso são positivos.

### 4.5.3 Identificação de fatores que influenciam a aceitação e intenção de uso

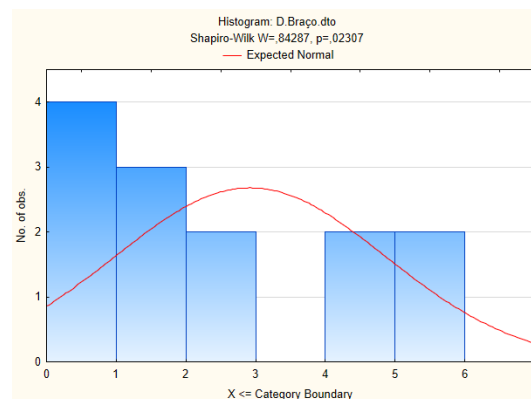
Para a amostra seguir uma distribuição normal o p-value (p), tem de ser superior ao nível de significância ( $\alpha=0,05$ ), caso contrário a amostra não segue uma distribuição normal. As **figuras 4.27, 4.28 e 4.29**, apresentam os histogramas que verificam a normalidade da distribuição de cada amostra.



**Figura 4.27** - Verificação da distribuição amostral da "Cablagem do Portão" – 2ª Fase



**Figura 4.28** - Verificação da distribuição amostral da "EPB/ Ligação Tubos Travão" – 2ª Fase



**Figura 4.29** - Verificação da distribuição amostral do "Aperto do Noise Shield" – 2ª Fase



A **tabela 4.22** apresenta os resultados obtidos na verificação da distribuição amostral da “Cablagem do Portão” (CP), da “EPB/ Ligação Tubos Travão” (EPB) e do “Aperto do Noise Shield” (ANS).

**Tabela 4.22** - Verificação da distribuição da amostra – 2ª Fase

Verificação da distribuição da amostra			
Estação	CP	EPB	ANS
N	13	9	13
p	0,01278	0,04012	0,02307
D. Normal	Não segue	Não segue	Não segue

Como as amostras não seguem uma distribuição normal, são novamente aplicados os testes não-paramétricos, nomeadamente, o coeficiente de correlação de Spearman e o teste de Wilcoxon.

As **tabelas 4.23, 4.24 e 4.25**, apresentam as variáveis que se correlacionam nas diferentes amostras, do lado esquerdo as que se correlacionam negativamente e do lado direito, as que se correlacionam positivamente.

**Tabela 4.23** - Correlação entre as variáveis da “Cablagem do Portão” – 2ª Fase

Correlação entre as variáveis da “Cablagem do Portão”			
Negativamente correlacionados		Positivamente correlacionados	
Combinação	$\rho$	Combinação	$\rho$
Funcionalidade e PE. Ombros	-0,8889	Funcionalidade e Fácil Usar	0,7805
Funcionalidade e PE. Braços	-0,5970	Funcionalidade e Usaria	0,6987
Funcionalidade e D. Peito	-0,6262	Fácil Usar e Vestir	0,6758
Funcionalidade e D. Ombros	-0,6972	Fácil Usar e Usaria	0,6750
Fácil Usar e PE. Braços	-0,5680	Vestir e Acesso	0,5875
Fácil Usar e PE. Ombros	-0,7250	Vestir e Usaria	0,6111
		Acesso e Usaria	0,6318

**Tabela 4.24** - Correlação entre as variáveis da “EPB/ Ligação Tubos Travão” – 2ª Fase

Correlação entre as variáveis da “EPB/ Ligação Tubo Travão”			
Negativamente correlacionados		Positivamente correlacionados	
Combinação	$\rho$	Combinação	$\rho$
Funcionalidade e D. Dorsal	-0,8713	Funcionalidade e Acesso	0,7647
Funcionalidade e D. Peito	-0,8691	Funcionalidade e Usaria	0,7371
Funcionalidade e D. Ombros	-0,7039	Fácil Usar e Acesso	0,7839
		Acesso e Usaria	0,6934

**Tabela 4.25** - Correlação entre as variáveis do “Aperto do Noise Shield” – 2ª Fase

Correlação entre as variáveis do “Aperto do Noise Shield”			
Negativamente correlacionados		Positivamente correlacionados	
Combinação	$\rho$	Combinação	$\rho$
Funcionalidade e PE. Ombro esq.	-0,6671	Funcionalidade e Fácil Usar	0,8986
Funcionalidade e PE. Braço esq.	-0,6068	Funcionalidade e Acesso	0,8204
Funcionalidade e D. Lombar	-0,6892	Funcionalidade e Usaria	0,8470
Funcionalidade e D. Peito	-0,6595	Fácil Usar e Vestir	0,6832
Funcionalidade e D. Ombro esq.	-0,7250	Fácil Usar e Acesso	0,7461
Funcionalidade e D. Braço esq.	-0,6543	Fácil Usar e Usaria	0,7501
Fácil Usar e PE. Ombro esq.	-0,6657	Acesso e Usaria	0,9731
Fácil Usar e PE. Ombro dto.	-0,6434		
Fácil Usar e PE. Braço esq.	-0,6083		
Fácil Usar e D. Lombar	-0,5890		
Fácil Usar e D. Ombros	-0,5905		
Vestir e PE. Ombro esq.	-0,6728		
Vestir e PE. Braço esq.	-0,5656		
Vestir e D. Lombar	-0,6101		
Vestir e D. Braço esq.	-0,5608		
Acesso e D. Peito	-0,6558		
Acesso e D. Ombros.	-0,5608		
Acesso e D. Braço esq.	-0,5709		
Usaria e D. Ombro esq.	-0,6605		
Usaria e D. Braço esq.	-0,6456		
Usaria e D. Peito	- 0,6939		

Do lado esquerdo das tabelas, apresentam-se as correlações negativas entre as variáveis da aceitação e intenção de uso com a percepção de esforço e o desconforto ao utilizar o exo-esqueleto.

Do lado direito das tabelas, apresentam-se as correlações positivas entre as variáveis da aceitação e intenção de uso, *i.e.*, a percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e intenção de uso.

Na “Cablagem do Portão” a percepção de esforço em determinadas regiões corporais correlaciona-se com a percepção de utilidade e percepção de facilidade de uso. O desconforto em determinadas regiões corporais correlaciona-se com a percepção de utilidade. No entanto, a percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e intenção de uso, correlacionam-se entre si. Conclui-se que quanto menor a percepção de esforço, maior é a percepção de utilidade e facilidade de uso e quanto menor for o desconforto, maior é a percepção de utilidade. Adicionalmente quanto maior for a percepção de utilidade e facilidade de uso, maior será a intenção de uso.

Na “EPB/ Ligação Tubos Travão” o desconforto em determinadas regiões corporais correlaciona-se com a percepção de utilidade. Por sua vez, a intenção de uso está correlacionada com a percepção de utilidade e a percepção de facilidade de uso. Conclui-se que quanto menor for o desconforto maior é a percepção de utilidade, por sua vez, quanto maior for a percepção de utilidade e facilidade de uso, maior será a intenção de uso. Adicionalmente a percepção de esforço não se correlaciona com a aceitação e intenção de uso.

No “Aperto do Noise Shield” o desconforto e a percepção de esforço em determinadas regiões corporais correlacionam-se com a percepção de utilidade e de facilidade de uso. Significa que quanto menor for o desconforto e a percepção de esforço, maior é a percepção de utilidade e de facilidade de uso. Adicionalmente o desconforto em determinadas regiões corporais correlaciona-se com a intenção de uso. A percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e intenção de uso, correlacionam-se entre si. Conclui-se que quanto menor for o desconforto e quanto maior for a percepção de utilidade e facilidade de uso, maior será a intenção de uso.

Conclui-se que o aumento da percepção de esforço e do desconforto são fatores que podem influenciar negativamente a percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e a intenção de uso. Adicionalmente, como verificado no *Technology Acceptance Model* (Davis, 1985), a percepção de facilidade de uso pode influenciar a percepção de utilidade e ambas podem influenciar a intenção de uso do exo-esqueleto.

As variáveis da percepção de esforço sem e com o exo-esqueleto são comparadas de modo a verificar se existe uma diferença significativa na percepção de esforço ao utilizar o exo-esqueleto.

A **tabela 4.26** apresenta as regiões corporais onde a diferença de percepção de esforço com a utilização do exo-esqueleto é significativa para cada amostra, nomeadamente na “Cablagem do Portão” (CP), na “EPB/ Ligação Tubos Travão” (EPB) e no “Aperto do Noise Shield” (ANS).

**Tabela 4.26** - Verificação de diferenças significativas na percepção de esforço sem e com o exo-esqueleto– 2ª Fase

Diferenças significativas na percepção de esforço sem e com o exo-esqueleto					
CP		EPB		ANS	
Variável	<i>p-value</i>	Variável	<i>p-value</i>	Variável	<i>p-value</i>
Braços	0,047	-	-	R. Lombar	0,043
				Ombro esq.	0,036

Na “Cablagem do Portão” existe uma diminuição significativa na percepção de esforço nos braços ao utilizar o exo-esqueleto. Como verificado anteriormente a percepção de esforço nos braços relaciona-se com a percepção de utilidade e facilidade de uso, que por sua vez, são fatores que podem influenciar a intenção de uso.

Na “EPB/ Ligação Tubos Travão”, as diferenças na percepção de esforço não são significativas.

No “Aperto do Noise Shield” a diminuição da percepção de esforço é significativa para a região lombar e o ombro esquerdo. Como verificado anteriormente a percepção de esforço no ombro esquerdo relaciona-se com a percepção de utilidade e facilidade de uso, que por sua vez são fatores que podem influenciar a intenção de uso.

Como concluído por Huysamen e colaboradores (2018), o exo-esqueleto não tem efeitos significativos na percepção de esforço dos membros inferiores. O efeito significativo na percepção de esforço apenas ocorre nos membros superiores e no tronco.

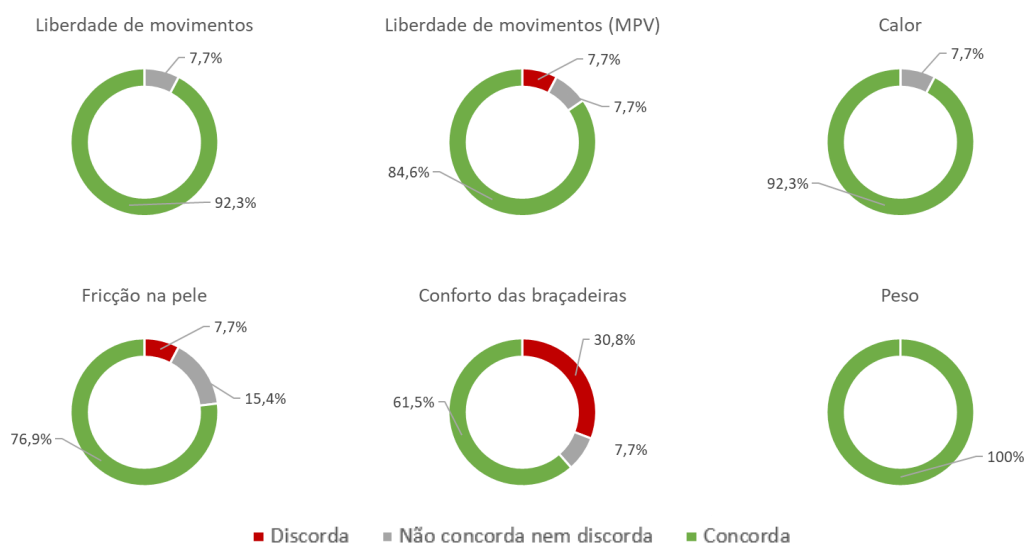
Deste modo conclui-se, que a percepção de esforço, o desconforto, como por exemplo, calor, pressão, fricção na pele e o peso do exo-esqueleto, a percepção de utilidade e a percepção de facilidade de uso são fatores que podem influenciar significativamente a aceitação e intenção de uso do exo-esqueleto.

#### 4.5.4 Comparação dos Resultados na Utilização de dois Exo-esqueletos

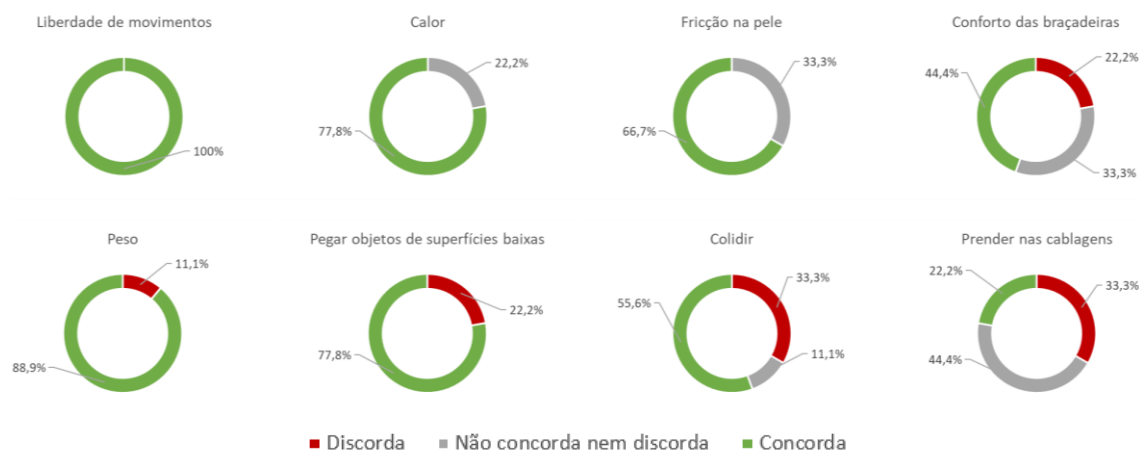
A comparação dos resultados na utilização de dois exo-esqueletos tem como objetivo verificar se ao atualizar as características do exo-esqueleto, as percepções dos utilizadores alteram em relação à utilização do exo-esqueleto. Nesta avaliação, são analisados os resultados obtidos no último dia de utilização do Skelex Mark 1.3®, na 1ª Fase e do Skelex 360®, na 2ª Fase.

Pelo Questionário de Usabilidade, os operadores indicam se o Skelex 360® melhorou em relação ao Skelex Mark 1.3® relativamente aos fatores que podem influenciar a aceitação e intenção de uso.

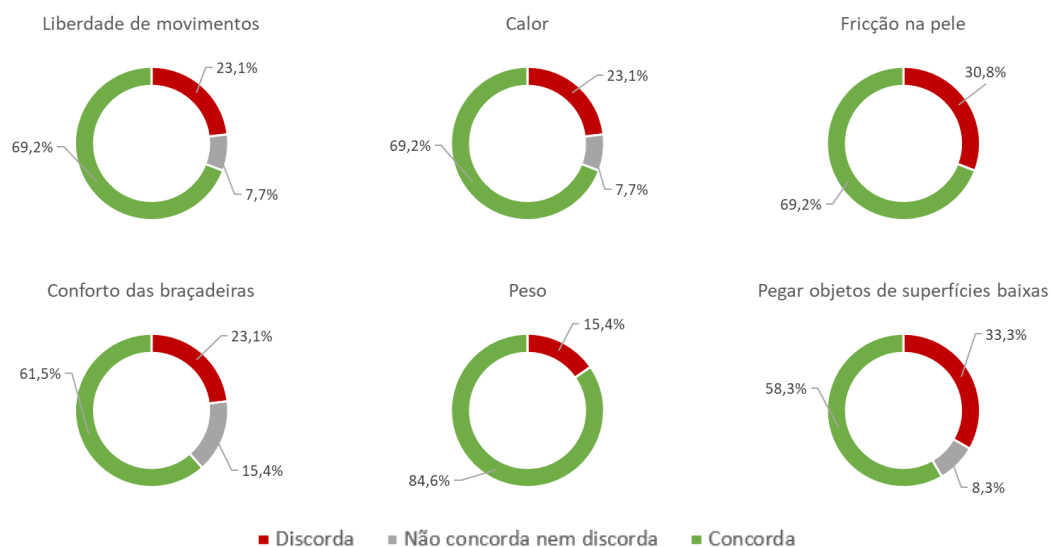
Nas **figuras 4.30, 4.31 e 4.32**, apresentam-se os resultados obtidos da comparação da utilização dos dois exo-esqueletos. Segundo as características que os operadores indicaram com maior frequência como aspetos a melhorar no Skelex Mark 1.3®, é verificado se concordam que as características do Skelex 360® melhoraram relativamente às do Skelex Mark 1.3®.



**Figura 4.30** - Resultados da comparação entre a utilização do Skelex Mark 1.3® e o Skelex 360® na "Cablagem do Portão"



**Figura 4.31** - Resultados da comparação entre a utilização do Skelex Mark 1.3® e o Skelex 360® na "EPB/ Ligação Tubos Travão"



**Figura 4.32** - Resultados da comparação entre a utilização do Skelex Mark 1.3® e o Skelex 360® no "Aperto do Noise Shield"

De um modo geral, a maioria dos operadores considera que o Skelex 360® melhorou em todas as características assinaladas, à exceção da característica "Prender nas cablagens" na "EPB/ Ligação Tubos Travão".

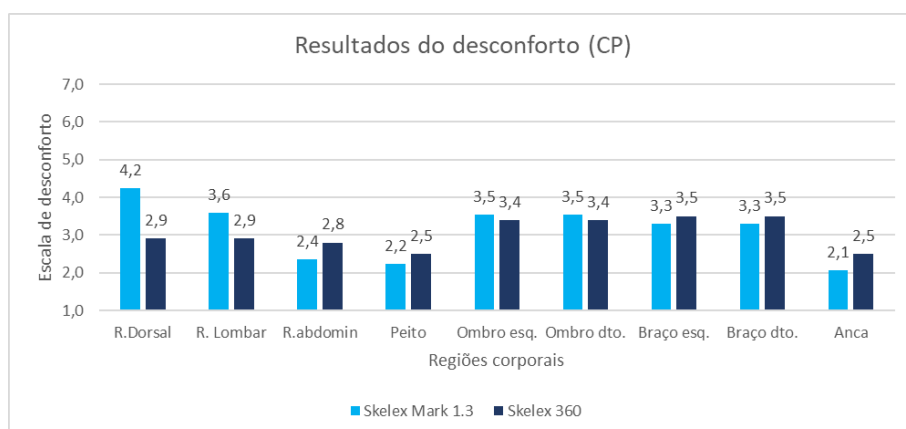
Na "Cablagem do Portão", todos os operadores reconhecem que o Skelex 360® é mais leve. Esta característica é reconhecida pela maioria dos operadores, no "Aperto do Noise Shield".

Na "EPB/ Ligação Tubos Travão", todos os operadores reconhecem que o Skelex 360® permite uma maior amplitude de movimentos.

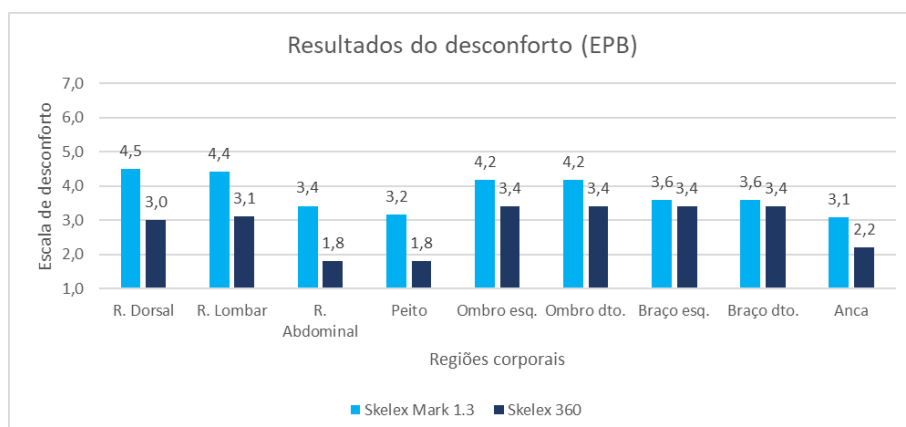
No início da 2ª Fase ocorreu uma avaria no Skelex 360®. No primeiro dia de estudo, uma das braçadeiras saiu com frequência durante a realização dos testes. A solução foi fixar as braçadeiras

do tamanho médio aos braços do exo-esqueleto, impedindo que a situação voltasse a ocorrer e permitindo a continuação dos testes. Esta decisão influenciou os resultados da característica “Conforto das braçadeiras”, nomeadamente em relação aos operadores que não utilizavam o tamanho médio das braçadeiras.

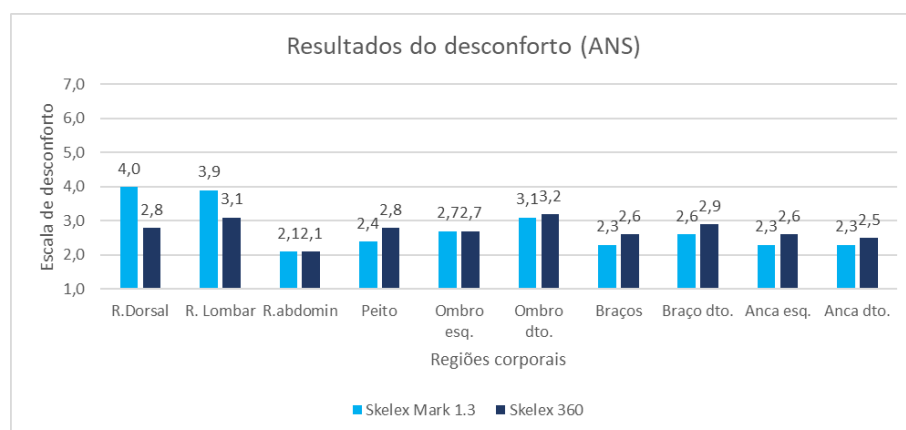
Nas **figuras 4.33, 4.34 e 4.35**, apresentam-se os resultados do desconforto assinalados no último Questionário de Usabilidade preenchido na 1ª Fase, e no Questionário de Usabilidade da 2ª Fase.



**Figura 4.33** - Comparação dos resultados do desconforto na "Cablagem do Portão"



**Figura 4.34** - Comparação dos resultados do desconforto na "EPB/ Ligação Tubos Travão"



**Figura 4.35** - Comparação dos resultados do desconforto no "Aperto do Noise Shield"

A região dorsal e a região lombar são as regiões corporais onde, de modo geral, o Skelex 360® provoca menos desconforto relativamente ao Skelex Mark 1.3®.

Na “Cablagem do Portão” e no “Aperto do Noise Shield” o desconforto com o Skelex 360® é semelhante ao reportado com a utilização do Skelex Mark 1.3®.

Na “EPB/ Ligação Tubos Travão” o desconforto com o Skelex 360® é menor em todas as regiões corporais.

A **tabela 4.27** apresenta a percentagem de operadores que considera positiva a perceção de utilidade, perceção de facilidade de uso e intenção de uso, com a utilização do Skelex Mark 1.3® e do Skelex 360®.

**Tabela 4.27** - Resultados da aceitação e intenção de uso – 1ª Fase e 2ª Fase

	<b>Operadores que consideram a aceitação e intenção de uso positiva (%)</b>					
	<b>CP</b>		<b>EPB</b>		<b>ANS</b>	
	Skelex Mark 1.3®	Skelex 360®	Skelex Mark 1.3®	Skelex 360®	Skelex Mark 1.3®	Skelex 360®
Funcionalidade	70,6	76,9	66,8	55,6	44,4	46,2
Fácil Usar	64,7	76,9	41,7	88,9	50,0	53,8
Vestir	53,0	76,9	33,3	55,6	38,9	61,5
Acesso	70,6	69,2	41,7	22,2	44,4	30,7
Usaria	53,0	69,2	33,3	44,4	38,9	38,4

No “Aperto do Noise Shield”, de um modo geral, a percentagem de operadores que considera positivas as questões da aceitação e intenção de uso é muito semelhante em relação à utilização do exo-esqueleto, à exceção da facilidade de vestir e despir o exo-esqueleto que é superior na utilização do Skelex 360®.

Em todas as estações de trabalho a perceção de facilidade ao vestir e despir aumentou com a utilização do Skelex 360®.

Em relação às questões relacionadas com a intenção de uso ocorrem duas situações distintas. A percentagem de operadores que pretende ter acesso ao exo-esqueleto no posto de trabalho diminui com a utilização do Skelex 360®. No entanto, mais operadores afirmam que usariam o exo-esqueleto, à exceção da amostra do “Aperto do Noise Shield” onde os resultados permaneceram semelhantes. Logo, as alterações das características do exo-esqueleto permitiram que a intenção de uso aumentasse, mas no “Aperto do Noise Shield” essas alterações não foram suficientes para aumentar a percentagem de operadores que pretende usar o exo-esqueleto.

A **tabela 4.28** apresenta as variáveis onde existe uma diferença significativa entre os resultados da 1ª Fase e da 2ª Fase.

**Tabela 4.28** - Diferenças significativas entre a utilização de Skelex Mark 1.3® & Skelex 360®

Diferenças significativas entre a utilização de Skelex Mark 1.3® & Skelex 360®					
CP		EPB		ANS	
Variável	<i>p-value</i>	Variável	<i>p-value</i>	Variável	<i>p-value</i>
PE. Lombar	0,037	D. Abdominal	0,012	D. Dorsal	0,011
PE. Ombros	0,021	D. Peito	0,028	D. Lombar	0,013
PE. Braços	0,012				
PE. Cotovelos	0,021				
PE. Anca	0,005				
PE. Coxas	0,022				
PE. Joelhos	0,008				
PE. Pés	0,008				
Vestir	0,028				

A maioria das diferenças na “Cablagem do Portão” ocorrem em relação à percepção de esforço ao utilizar o exo-esqueleto. A percepção de esforço com a utilização do Skelex 360® aumenta significativamente nas regiões corporais referidas na **tabela 4.28**, mas continua a ser reportada uma diminuição da percepção de esforço ao utilizar o exo-esqueleto, à exceção da anca. Os operadores consideram o Skelex 360® mais fácil de vestir e despir, comparativamente ao Skelex Mark 1.3®.

Na “EPB/ Ligação Tubos Travão” e no “Aperto do Noise Shield” as diferenças são relacionadas com o desconforto, onde se sucede uma diminuição significativa do desconforto da utilização do Skelex Mark 1.3® para a utilização do Skelex 360®.

Conclui-se, de um modo geral, que os operadores consideram o Skelex 360® mais confortável, *i.e.*, provoca menos desconforto na região dorsal e região lombar, é mais leve, provoca menos calor, permite uma maior liberdade de movimentos, faz menos fricção na região das alças e as braçadeiras são mais confortáveis. A melhoria das características do exo-esqueleto permitem um ligeiro aumento da percentagem de operadores que afirma usar o exo-esqueleto, à exceção dos operados do “Aperto do Noise Shield”.

Ao longo do estudo, foram reportados comentários positivos relativamente à utilização do exo-esqueleto, nomeadamente: apoio dos membros superiores; diminuição do esforço ao realizar as tarefas, principalmente as tarefas acima do nível do ombro; sensação de melhoria na postura; suporte na utilização de ferramentas.



Apesar dos aspetos positivos referidos pelos operadores, também foram referidos aspetos a melhorar para o Skelex Mark 1.3® como por exemplo:

- O peso: os operadores referiram sensação de alívio ao retirar o exo-esqueleto devido ao peso, geralmente, ao fim de uma hora de utilização.
- O arnês, nomeadamente na região dorsal e lombar: os operadores reportaram desconforto nomeadamente pressão, calor e fricção na pele.
- A amplitude de movimento: os operadores reportaram limitação dos movimentos ao realizar algumas tarefas, principalmente tarefas dinâmicas ou abaixo do nível da cintura.

As atualizações das características do Skelex 360® já correspondem aos aspetos a melhorar referidos. Apesar de menos frequentes, os operadores continuaram a reportar aspetos a melhorar. As propostas de melhoria para o Skelex 360® são as seguintes:

- Redução do número de pontos de contacto com o corpo: permite a diminuição do desconforto provocado pelo calor. Apesar de existir uma menor área de contacto com o corpo, comparativamente ao Skelex Mark 1.3®, os operadores ainda indicam o calor como um aspeto a melhorar.
- Criação de um mecanismo impeditivo de realizar força no vetor contrário ao da força do exo-esqueleto: este sistema possibilita a diminuição da perceção de esforço e desconforto na realização de tarefas dinâmicas. Apesar do suporte dado pelo exo-esqueleto em tarefas realizadas acima do nível do ombro, quando os operadores realizam a extensão ou adução dos ombros, necessitam de fazer força, o que aumenta a perceção de esforço e o desconforto.
- Alteração do design das braçadeiras: o comprimento dos braços deve ser alterado, diminuindo o comprimento mínimo, de modo a evitar desconforto na região dos cotovelos. Apesar do sistema de alteração de braçadeiras de diferentes tamanhos ser positivo, é necessário que o sistema de bloqueio seja seguro, evitando que as braçadeiras saiam durante a realização das tarefas. O comprimento mínimo do braço do Skelex 360® é muito longo, criando desconforto na zona de contacto com a braçadeira, na região do cotovelo para operadores de menor estatura. Devido à avaria no sistema das braçadeiras, a utilização do tamanho médio das braçadeiras proporcionou o aumento do desconforto nos operadores que não utilizam este tamanho das braçadeiras.

## 4.6 Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos

No decorrer do estudo observou-se que para além do suporte dado pelo exo-esqueleto em tarefas acima do nível do ombro, nas estações de trabalho onde ocorre maior percentagem de trabalho realizado acima do nível do ombro e ocorrem menos interrupções das tarefas estáticas, existe uma maior aceitação na utilização do exo-esqueleto. Em diferentes estudos, (Bosch et al., 2016; Hensel & Keil, 2019; Spada et al., 2017) o desempenho ao utilizar o exo-esqueleto na realização de tarefas estáticas é superior em relação às restantes tarefas.

Através da consulta da *Ergonomic Assessment Work-Sheet* (EAWS) obtém-se a percentagem de trabalho realizado acima do nível do ombro e através da observação da atividade de trabalho obtém-se o número de interrupções de tarefas estáticas. A **tabela 4.29** apresenta a percentagem de trabalho realizado acima do nível do ombro e o número de interrupções estáticas por ciclo de trabalho que ocorrem em cada estação de trabalho.

**Tabela 4.29** - Percentagem de trabalho realizado acima do nível do ombro e número de interrupções de tarefas estáticas por ciclo de trabalho

Estações de Trabalho	% de trabalho realizado acima do nível do ombro	Nº de interrupções de tarefas estáticas
CP	59	3
EPB	52	5
ANS	50	11

A “Cópia ao Alto” é um posto de trabalho distinto dos restantes. Ao contrário das outras estações de trabalho, a “Cópia ao Alto” não tem um tempo de ciclo definido. Devido à exigência do trabalho, a duração da exposição nas atividades de trabalho é definida pelo operador. Através da EAWS sabe-se que a estação de trabalho tem cerca de 50% de trabalho realizado acima do nível do ombro, mas não é possível contabilizar o número de interrupções de tarefas estáticas por ciclo de trabalho.

No estudo verificou-se como os diferentes fatores avaliados se podem relacionar com a aceitação e intenção de uso. Os resultados das relações entre as variáveis na 1ª Fase e 2ª Fase permitem identificar quais as relações que ocorrem igualmente na utilização dos exo-esqueletos testados e nas diferentes estações de trabalho.

A **tabela 4.30** apresenta todas as variáveis que se correlacionam com as variáveis da aceitação e intenção de uso, na 1ª Fase e na 2ª Fase.

**Tabela 4.30** - Correlação entre as variáveis – 1ª Fase e 2ª Fase

Variáveis		1ª Fase - CP	1ª Fase - EPB	1ª Fase - ANS	2ª Fase - CP	2ª Fase - EPB	2ª Fase - ANS
Funcionalidade	PE. Dorsal	x					
	PE. Ombros	x			x		x
	PE. Braços	x			x		x
	D. Dorsal					x	
	D. Lombar						x
	D. Abdominal	x					
	D. Peito	x			x	x	x
	D. Ombros	x			x	x	x
	D. Braços		x	x			x
	Facil usar	x	x	x	x		x
	Vestir			x			
	Acesso	x	x	x		x	x
	Usaria	x	x	x	x	x	x
Fácil Usar	PE. Dorsal		x				
	PE. Lombar		x				
	PE. Abdominal			x			
	PE. Peito			x			
	PE. Ombros			x	x		x
	PE. Braços				x		x
	D. Dorsal			x			
	D. Lombar			x			x
	D. Peito	x		x			
	D. Ombros		x	x			x
	D. Braços			x			
	D. Anca			x			
	Funcionalidade	x	x	x	x		x
	Vestir	x	x	x	x		x
Vestir	Acesso	x	x			x	x
	Usaria		x		x		x
	PE. Dorsal		x				
	PE. Lombar		x				
	PE. Ombros		x				x
	PE. Braços						x
	PE. Cotovelos		x				
	D. Lombar						x
	D. Ombros			x			
	D. Braços			x			x
	Funcionalidade			x			
	Facil usar	x	x	x	x		x
	Acesso		x	x	x		
	Usaria			x	x		
Acesso	PE. Dorsal		x				
	PE. Lombar		x				
	PE. Ombros		x				
	D. Abdominal	x					
	D. Peito	x					x
	D. Ombros		x				x
	D. Braços		x				x
	Funcionalidade	x	x	x		x	x
	Facil usar	x	x			x	x
	Vestir		x	x	x		
	Usaria	x	x	x	x	x	x
Usaria	PE. Dorsal		x				
	PE. Ombros		x				
	D. Peito						x
	D. Ombros		x				x
	D. Braços		x				x
	Funcionalidade	x	x	x	x	x	x
	Facil usar		x		x		x
	Vestir			x			
	Acesso	x	x	x	x	x	x

A correlação das variáveis “Usaria” e “Funcionalidade” é comum nas duas fases de estudo em todas as estações de trabalho. Logo, a percepção de utilidade influencia a intenção de uso, independentemente do exo-esqueleto utilizado e da estação de trabalho em análise. No estudo da aceitação e intenção de uso de um exo-esqueleto para suporte do tronco (Hensel & Keil, 2019), concluiu-se que a percepção de utilidade do exo-esqueleto determina positivamente a aceitação do utilizador.

Adicionalmente, verifica-se que o desconforto em diferentes regiões corporais também se correlaciona com a “Funcionalidade”. Logo o desconforto influencia a percepção de utilidade independentemente do exo-esqueleto utilizado e da estação de trabalho em análise.

Conclui-se que, quanto menor for o desconforto, maior é a percepção de utilidade, e por sua vez, maior é a intenção de uso.

Baseado numa matriz de prioridades, elaborou-se um modelo de recomendação de utilização de exo-esqueletos para os membros superiores, ilustrado na **figura 4.36**.



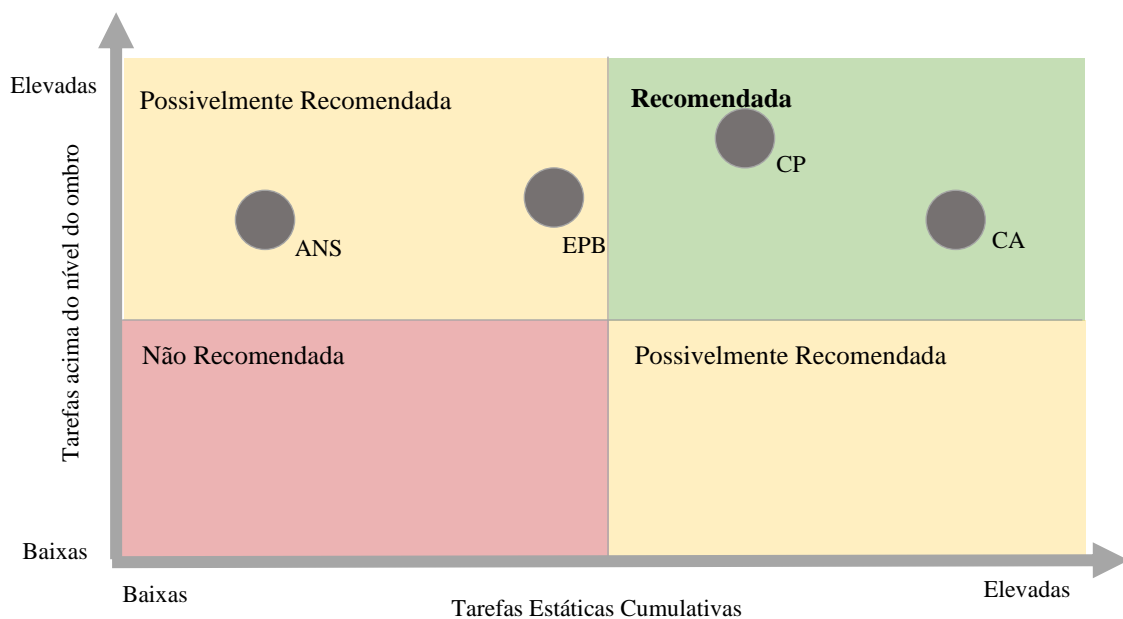
**Figura 4.36** - Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos para os Membros Superiores

Os quadrantes da matriz representam as tarefas realizadas acima do nível do ombro e as tarefas estáticas cumulativas e indicam se a utilização do exo-esqueleto é recomendada, possivelmente recomendada ou não recomendada.

- **Recomendada (zona verde):** quando a ocorrência de tarefas realizadas acima do nível do ombro e tarefas estáticas cumulativas são elevadas, é recomendada a utilização do exo-esqueleto para os membros superiores.

- Possivelmente recomendada (zona amarela): quando a ocorrência de tarefas realizadas acima do nível do ombro é elevada e as tarefas estáticas cumulativas é baixa, ou vice-versa, não é garantido que a aceitação dos trabalhadores seja elevada, pelo que a utilização é possivelmente recomendada.
- Não recomendada (zona vermelha): quando a ocorrência de tarefas realizadas acima do nível do ombro e tarefas estáticas cumulativas são baixas, não é recomendada a utilização do exo-esqueleto para os membros superiores.

A **figura 4.37** ilustra o preenchimento das estações de trabalho no Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos para os Membros Superiores.



**Figura 4.37** - Estações de trabalho recomendadas segundo o Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos para os Membros Superiores

Segundo o preenchimento das estações de trabalho no Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos para os Membros Superiores, é recomendado o uso de exo-esqueletos na “Cópia ao Alto” e na “Cablagem do Portão”. Relativamente à “EPB/ Ligação Tubos Travão” e “Aperto do Noise Shield”, a utilização do exo-esqueleto é considerada possivelmente recomendada.



## 5 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo apresentam-se as conclusões do trabalho, as limitações que surgiram no decorrer do estudo e recomendações no âmbito da avaliação da aceitação e intenção de uso de exoesqueletos.

### 5.1 Conclusões

A dissertação foi desenvolvida com o objetivo de analisar e avaliar a aceitação e intenção de uso de exoesqueletos passivos para os membros superiores. Esta avaliação permitiu identificar fatores que influenciam a aceitação e intenção de uso, as características das estações de trabalho onde poderão ser recomendadas a utilização do exoesqueleto e propostas de melhoria para a modificação do exoesqueleto passivo para os membros superiores (Skelex 360®).

Contudo, foi necessário compreender se o protocolo a aplicar estava devidamente concebido para proceder à análise e avaliação da aceitação e intenção de uso. O Pré-Teste permitiu identificar oportunidades de melhoria no protocolo aplicado, nomeadamente nos questionários. Procedidas as alterações iniciaram-se os testes para avaliar a aceitação e intenção de uso do Skelex Mark 1.3®.

Na 1ª Fase verifica-se que a perceção dos operadores relativamente à utilização do exoesqueleto altera-se do primeiro para o último dia de utilização. Concluiu-se que o tempo de utilização do exoesqueleto pode influenciar a perceção de esforço, desconforto, perceção de utilidade e facilidade de uso e a intenção de uso. Adicionalmente a perceção de esforço, o desconforto causado por exemplo, pelo calor, pressão, fricção na pele e peso do exoesqueleto, a perceção de utilidade e a perceção de facilidade de uso são fatores que influenciam a aceitação e intenção de uso.

Na 2ª Fase os operadores utilizam o exoesqueleto Skelex 360®. Novamente, verifica-se que a perceção de esforço, o desconforto, a perceção de utilidade e a perceção de facilidade de uso são fatores que influenciam a aceitação e intenção de uso.

O Skelex Mark 1.3® e o Skelex 360® não têm efeitos significativos na perceção de esforço dos membros inferiores. O efeito significativo na perceção de esforço apenas ocorre nos membros superiores e no tronco.

Os resultados da 1ª Fase e 2ª Fase são comparados com o objetivo de verificar se as atualizações das características do exoesqueleto, alteram as perceções dos utilizadores em relação à utilização do exoesqueleto. Na “Cablagem do Portão” ocorrem diferenças significativa na perceção de

esforço e na percepção de facilidade de uso, nomeadamente na facilidade de vestir e despir o exo-esqueleto. Na “EPB/ Ligação Tubos Travão” e no “Aperto do Noise Shield” as diferenças ocorrem em relação ao desconforto. Logo, a alteração do exo-esqueleto influenciou a percepção de esforço, o desconforto e a percepção de facilidade de uso ao vestir e despir, mas não influenciou significativamente a percepção de utilidade, a percepção de facilidade de uso na realização das atividades de trabalho e a intenção de uso.

Apesar da diminuição significativa no desconforto, os operadores continuam a identificar aspetos a melhorar no Skelex 360®. As propostas de melhoria para o exo-esqueleto dos membros superiores são:

- Redução do número de pontos de contacto com o corpo, diminuindo o desconforto provocado pelo calor;
- Criação de um mecanismo impeditivo de realizar força no vetor contrário ao da força do exo-esqueleto: este sistema possibilita a diminuição da percepção de esforço e desconforto na realização de tarefas dinâmicas.
- Alteração do design das braçadeiras: apesar do sistema de alteração de braçadeiras de diferentes tamanhos ser positivo, é necessário que o sistema de bloqueio seja seguro, evitando que a braçadeira saia durante a realização das tarefas. O comprimento dos braços deve ser alterado.

Das diferentes dimensões avaliadas, a percepção de utilidade é a dimensão que está relacionada com a intenção de uso em todas as estações de trabalho com a utilização dos dois exo-esqueletos, o que indica que quanto maior for a percepção de utilidade, maior é a intenção de uso, independentemente do exo-esqueleto utilizado.

Concluiu-se que as características das estações de trabalho, nomeadamente, o tipo de tarefas realizadas, pode influenciar a intenção de uso. Quanto maior for a percentagem de trabalho realizado acima do nível do ombro e quanto maior for a ocorrência de tarefas estáticas cumulativas, maior será a aceitação e intenção de uso dos trabalhadores. Portanto, segundo as características das estações de trabalho recomenda-se a utilização do exo-esqueleto na “Cópia ao Alto” e na “Cablagem do Portão”. Adicionalmente, a maior percentagem de operadores a afirmar que usaria o exo-esqueleto foi na “Cablagem do Portão” e, apesar da amostra não ser representativa, na “Cópia ao Alto”.

## 5.2 Limitação do estudo

As limitações deste estudo deveram-se ao surgimento de alguns imprevistos, por motivos organizacionais e por avaria do exo-esqueleto Skelex 360®.



Por motivos organizacionais, foi necessário alterar o protocolo na 2ª Fase. O objetivo seria manter a utilização do Protocolo Revisto.

No início da 2ª Fase ocorreu uma avaria no Skelex 360®. Ao contrário do Skelex Mark 1.3®, o Skelex 360® inclui um sistema que permite trocar as braçadeiras para diferentes tamanhos. No primeiro dia de estudo, uma das braçadeiras saiu com frequência durante a realização das tarefas, e por motivos de segurança, retirou-se o exo-esqueleto do operador e suspenderam-se os testes. Devido ao planeamento dos testes, foi necessário aplicar uma solução rápida. A solução proveniente do fabricante foi fixar as braçadeiras do tamanho médio aos braços do exo-esqueleto, impedindo que a situação voltasse a ocorrer e permitindo a continuação dos estudos. Esta decisão influenciou os resultados relacionados com o desconforto provocado pelas braçadeiras, nomeadamente para os operadores que não utilizavam o tamanho médio das braçadeiras.

### 5.3 Recomendações

Sugere-se que para trabalhos futuros a análise e avaliação da aceitação e intenção de uso de exo-esqueletos seja realizada na estação de trabalho “Cópia ao Alto” com o Skelex 360® e seja alargada a mais estações de trabalho na organização.

É recomendado a utilização do Protocolo Revisto na análise e avaliação da aceitação e intenção de uso de exo-esqueletos passivos. É possível adaptar o protocolo a outro tipo de exo-esqueletos, permitindo a avaliação, como por exemplo, de exo-esqueletos para o suporte do tronco ou membros inferiores.

Não é recomendado o uso generalizado de exo-esqueletos. A seleção das estações de trabalho para a utilização de um exo-esqueleto deve ser baseada nas suas funcionalidades e nas características das estações de trabalho. Caso o estudo da aceitação e intenção de uso seja com a utilização de um exo-esqueleto passivo para os membros superiores, a seleção das estações de trabalho deverá basear-se no Modelo de Recomendação de Utilização de Exo-esqueletos para os Membros Superiores proposto.



## BIBLIOGRAFIA

- Ali, H. (2014). Bionic Exoskeleton: History, Development and the Future. *International conference on advances in Engineering & Technology: IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 58–62.
- Amandels, S., het Eyndt, H. O., Daenen, L., & Hermans, V. (2019). Introduction and Testing of a Passive Exoskeleton in an Industrial Working Environment. *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*, 3, 387–392. Springer International Publishing.
- Askool, S., Pan, Y. C., Jacobs, A., & Tan, C. (2019). Understanding Proximity Mobile Payment Adoption through Technology Acceptance Model and Organisational Semiotics: An Exploratory Study. *Proceedings of the 24th UK Academy for Information Systems International Conference (UKAIS 2019)*. Oxford, UK.
- Aziz, A. A., Karuppiyah, K., Suhaimi, N. A., Perumal, V., Perimal, E. K., & Mohd Tamrin, S. B. M. (2020). Footrest Intervention: Association Between Prolonged Standing and Perceived Exertion in the Body Parts Among Industrial Workers Using Borg's Scale Questionnaire. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 76, 1–7.
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical Bases of Perceived Exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, 377–381.
- Bosch, T., van Eck, J., Knitel, K., & de Looze, M. (2016). The Effects of a Passive Exoskeleton on Muscle Activity, Discomfort and Endurance Time in Forward Bending Work. *Applied Ergonomics*, 54, 212–217.
- Brooke, J. (1996). SUS - A Quick and Dirty Usability Scale. *Usability Evaluation in Industry*, 189, 4–7.
- Chen, Y. L., Chiou, W. K., Tzeng, Y. T., Lu, C. Y., & Chen, S. C. (2017). A Rating of Perceived Exertion Scale using Facial Expressions for Conveying Exercise Intensity for Children and Young Adults. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20, 66–69.
- Copaci, D., Martín, F., Moreno, L., & Blanco, D. (2019). SMA Based Elbow Exoskeleton for Rehabilitation Therapy and Patient Evaluation. *IEEE Access*, 7, 31473–31484.
- Davis, F. D. (1985). *A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results*. Doctoral Dissertation, Massachusetts Institute of Technology.

Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of two Theoretical Models. *Management Science*, 35, 982-1003.

Eurofound (2016). Inquérito Europeu sobre as Condições de Trabalho (2015). Disponível em <https://www.eurofound.europa.eu/pt/data/european-working-conditions-survey>; acedido em fevereiro de 2020.

Finstad, K. (2010). The Usability Metric for User Experience. *Interacting with Computers*, 22, 323–327.

Ge, S. S., Lee, T. H., & Ren, S. X. (2001). Adaptive Friction Compensation of Servo Mechanisms. *International Journal of Systems Science*, 32, 523–532.

Hensel, R., & Keil, M. (2019). Exoskeletons as Human-Centered , Ergonomic Assistance Systems in Future Competitive Production Systems. *Proceedings of the International Conference on Competitive Manufacturing (COMA 2019)*. Wallenberg Centre (STIAS).

Hinderks, A., Schrepp, M., Domínguez Mayo, F. J., Escalona, M. J., & Thomaschewski, J. (2019). Developing a UX KPI Based on the User Experience Questionnaire. *Computer Standards and Interfaces*, 65, 38–44.

Huysamen, K., Bosch, T., Looze, M. De, Stadler, K. S., Graf, E., & Sullivan, L. W. O. (2018). Evaluation of a Passive Exoskeleton for Static Upper Limb Activities. *Applied Ergonomics*, 70, 148–155.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 9241-11: Ergonomics of Human-System Interaction – Part 11: Usability: Definitions and concepts. Disponível em <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>; acedido em abril de 2020.

International Organization for Standardization. (2010). ISO 9241-210: Ergonomics of Human-System Interaction – Part 210: Human-centred Design for Interactive Systems. Disponível em <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-1:v1:en>; acedido em abril de 2020.

Kim, S., Nussbaum, M. A., Esfahani, M., Alemi, M., Alabdulkarim, S., & Rashedi, E. (2018 (a)). Assessing the Influence of a Passive, Upper Extremity Exoskeletal Vest for Tasks Requiring Arm Elevation: Part I – “Expected” Effects on Discomfort, Shoulder Muscle Activity, and Work Task Performance. *Applied Ergonomics*, 70, 315–322.

Kim, S., Nussbaum, M. A., Esfahani, M., Alemi, M., Jia, B., & Rashedi, E. (2018 (b)). Assessing the Influence of a Passive, Upper Extremity Exoskeletal Vest for Tasks Requiring Arm Elevation: Part II – “Unexpected” Effects on Shoulder Motion, Balance, and Spine Loading. *Applied Ergonomics*, 70, 323–330.

- Kothgassner, O. D., Felnhofer, A., Hauk, N., Kastenhofer, E., Gomm, J., & Kryspin-Exner, I. (2013). *TUI: Technology Usage Inventory*. Vienna: ICARUS.
- Lai, P. C. (2017). The Literature Review of Technology Adoption Models and Theories for the Novelty Technology. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 14, 21–38.
- Lewis, J. R., Utesch, B. S., & Maher, D. E. (2013). UMUX-LITE: When There's No Time for the SUS. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2099–2102. ACM SIGCHI.
- Makinson, B. J. (1971). *Research and Development Prototype for Machine Augmentation of Human Strength and Endurance. Hardiman I Project*. Schenectady, N.Y.: General Electric Company.
- Marôco, J. (2007). *Análise Estatística: com Utilização do SPSS*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Martins, A. I., Rosa, A. F., Queirós, A., Silva, A., & Rocha, N. (2015). European Portuguese Validation of the System Usability Scale (SUS). *Procedia Computer Science*, 67, 293–300.
- Menegon, L. da S., Vincenzi, S. L., de Andrade, D. F., Barbetta, P. A., Vink, P., & Merino, E. A. D. (2019). An Aircraft Seat Discomfort Scale Using Item Response Theory. *Applied Ergonomics*, 77, 1–8.
- Mudie, K. L., Boynton, A. C., Karakolis, T., O'Donovan, M. P., Kanagaki, G. B., Crowell, H. P., Begg, R. K., LaFiandra, M. E. & Billing, D. C. (2018). Consensus Paper on Testing and Evaluation of Military Exoskeletons for the Dismounted Combatant. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21, 1154–1161.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Boston: Morgan Kaufmann.
- Nunes, I. L. (2005). *Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho: Higiene, Segurança, Saúde e Prevenção de Acidentes de Trabalho*. (F. Cabral & R. Veiga, Eds.). Lisboa: Verlag Dashöfer.
- Nunes, I. L. (2006). *Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho - Guia para Avaliação de Risco*. (Edições Profissionais Sociedade Unipessoal, Ed). Lisboa: Verlag Dashöfer.
- Nunes, I. L. (2009). FAST ERGO\_X - A Tool for Ergonomic Auditing and Work-related Musculoskeletal Disorders Prevention. *Work*, 34, 133–148.
- Peters, M., & Wischniewski, S. (2019). The Impact of Using Exoskeletons on Occupational Safety and Health. *European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA)*.

- Priyanka, S., & Kumar, A. (2013). Understanding the Evolution of Technology Acceptance Model. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, 1, 144–148.
- Quiñones, D., Rusu, C., & Rusu, V. (2018). A Methodology to Develop Usability/User Experience Heuristics. *Computer Standards and Interfaces*, 59, 109–129.
- Reis, E. (1998). *Estatística Descritiva*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Sauro, J., & Kindlund, E. (2005). Making Sense of Usability Metrics: Usability and Six Sigma. *Proceedings of the 14th Annual Conference of the Usability Professionals Association*, 1–10. Montreal, Canada.
- Sauro, J., & Lewis, J. (2011). When Designing Usability Questionnaires, Does It Hurt to be Positive?. *Proceedings of the Conference in Human Factors in Computing Systems (CHI 2011)*, 2215–2224. Vancouver, Canada: ACM.
- Shore, L., Power, V., De Eyto, A., & O’Sullivan, L. W. (2018). Technology Acceptance and User-Centred Design of Assistive Exoskeletons for Older Adults: A Commentary. *Robotics*, 7, 1–13.
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1975). *Estatística Não-paramétrica para Ciências do Comportamento*. São Paulo: McGraw-Hill.
- Spada, S., Ghibaud, L., Gilotta, S., Gastaldi, L., & Pia, M. (2017). Investigation into the Applicability of a Passive Upper-limb Exoskeleton in Automotive Industry. *Procedia Manufacturing*, 11, 1255–1262.
- Spiegel, M. (1984). *Estatística*. São Paulo: McGraw-Hill.
- Sylla, N., Bonnet, V., Colledani, F., & Fraisse, P. (2014). Ergonomic Contribution of ABLE Exoskeleton in Automotive Industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44, 475–481.
- Taherdoost, H. (2018). A Review of Technology Acceptance and Adoption Models and Theories. *Procedia Manufacturing*, 22, 960–967.
- Tiggemann, C. L., Pinto, R. S., & Kruehl, L. F. M. (2010). A Percepção de Esforço no Treinamento de Força. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 16, 301–309.
- Tullis, T., & Albert, W. (2008). *Measuring the user experience: Collecting, Analyzing and Presenting Usability Metrics*. Amsterdam: Morgan Kaufmann.
- Vink, P., & Hallbeck, S. (2012). Comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model. *Applied Ergonomics*, 43, 271–276.

Voilqué, A., Masood, J., Fauroux, J. C., Sabourin, L., & Guezet, O. (2019). Industrial Exoskeleton Technology: Classification, Structural Analysis, and Structural Complexity Indicator. *Proceedings of the 2019 Wearable Robotics Association Conference (WearRAcon)*, 13–20. IEEE.





## ANEXOS

### Anexo A: Skelex Mark 1.3®



**Figura A. 1** - Skelex Mark 1.3® (a) Vista Frontal (b) Vista Posterior

**Tabela A. 1** - Amplitude de medidas permitidas para a utilização do Skelex Mark 1.3®

Descrição	Medidas (cm)
Largura do ombro	43-54
Comprimento do tronco	44-54
Cintura	84-124
Circunferência do braço	20-42

## Anexo B: Skelex 360®



(a)



(b)

**Figura B. 1** - Skelex 360® (a) Vista Frontal (b) Vista Posterior

**Tabela B. 1** - Amplitude de medidas permitidas para a utilização do Skelex 360®

Descrição	Medidas (cm)
Largura do ombro	42-58
Comprimento do tronco	44-54
Cintura	84-128
Circunferência do braço	20-42

## Anexo C: Questionário de Usabilidade\_0 – Pré-teste

1. A utilização do exo-esqueleto pode provocar desconforto. Este pode estar associado a uma ou à combinação das seguintes razões: pressão, calor, transpiração, fricção, irritação na pele, entre outros.

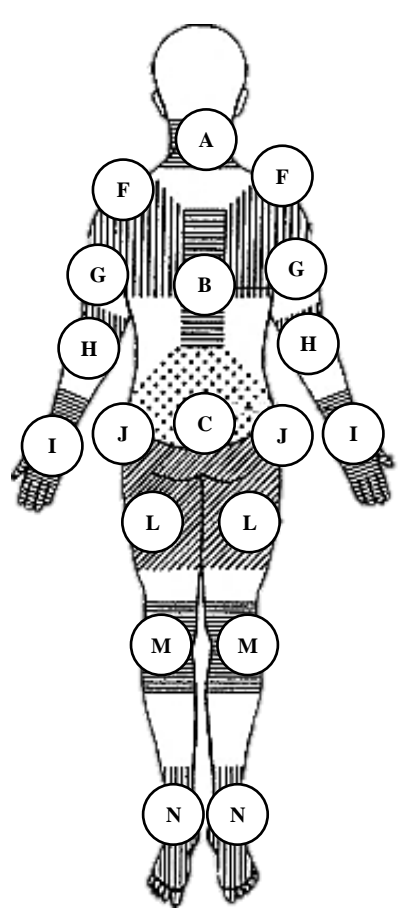
Solicitamos a sua colaboração para identificarmos as oportunidades de melhoria, por favor.

### Escala de desconforto:

1	2	3	4	5	6	7
Mínimo desconforto						Máximo desconforto

- a. Depois do período de utilização do exo-esqueleto, **escreva** na coluna “**desconforto**” o **número** que melhor traduz o **desconforto** sentido, tendo em conta a escala acima apresentada.

Região corporal		Desconforto	
A	Pescoço		
B	Região dorsal		
C	Região lombar		
D	Região abdominal		
E	Peito		
		esquerdo	direito
F	Ombro		
G	Braço		
H	Cotovelo		
I	Punho/mãos		
J	Anca/cintura		
L	Coxa		
M	Joelho		
N	Tornozelo / pés		



## 2. Perguntas sobre a aceitação do exo-esqueleto (marca Skel-ex).

Classifique, por favor, as seguintes afirmações:

As <u>funções</u> do exo-esqueleto dos membros superiores vão ao encontro das minhas necessidades	Discordo totalmente					Concordo totalmente	
	1	2	3	4	5	6	7
... ao vestir e despir (colocar e tirar)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... na realização da minha atividade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

O exo-esqueleto dos membros superiores é <u>fácil de usar</u>	Discordo totalmente					Concordo totalmente	
	1	2	3	4	5	6	7
... ao vestir e despir	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... na realização da minha atividade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 3. Intenção de uso

Classifique, por favor, as seguintes afirmações:

	Discordo totalmente					Concordo totalmente	
	1	2	3	4	5	6	7
Gostaria de <b>ter acesso</b> a esta tecnologia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Usaria</b> esta tecnologia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. O que considera **positivo** ao usar o exo-esqueleto dos membros superiores?

---

---

---

---

---

---

---

5. O que considera **negativo** ao usar o exo-esqueleto dos membros superiores?

---

---

---

---

---

---

---

**Obrigado pela sua colaboração!**

## Anexo D: Questionário Diário\_0 – Pré-teste

<b>Data:</b> _____				Não concordo							Concordo totalmente											
<input type="checkbox"/> Turno da manhã <input type="checkbox"/> Turno da tarde <input type="checkbox"/> Turno da noite				<b>1</b>							<b>2</b>		<b>3</b>		<b>4</b>		<b>5</b>		<b>6</b>		<b>7</b>	
Código de Participação ex.: Exo123				Tempo de utilização: hh:mm																		
O exo-esqueleto ajudou-me na realização das tarefas <b>principais</b> .								<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
O exo-esqueleto perturbou-me na realização das tarefas <b>principais</b> .								<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
O exo-esqueleto ajudou-me na realização das tarefas <b>secundárias</b> .								<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
O exo-esqueleto perturbou-me na realização das tarefas <b>secundárias</b> .								<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		

Comentários \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Anexo E: Questionário de Usabilidade\_1 – 1ª Fase e 2ª Fase

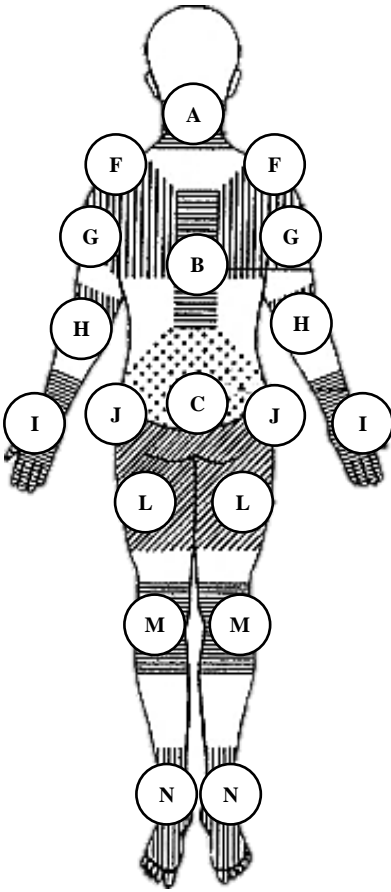
### 2. Avaliação da exigência do trabalho

A utilização do exo-esqueleto pode alterar a exigência do trabalho que realiza nesta estação.

Solicitamos-lhe que classifique, por favor, a **percepção do esforço** para cada uma das regiões corporais sinalizadas no quadro em baixo para 2 condições: **com e sem exo-esqueleto**. Utilize, por favor, a seguinte escala:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Repouso	Demasiado leve	Muito, muito leve	Muito leve	Leve	Moderadamente leve	Moderado	Moderadamente intenso	Intenso	Muito intenso	Exaustivo

	Região corporal	Nível de esforço			
		Sem		Com	
A	Pescoço				
B	Região dorsal				
C	Região lombar				
D	Região abdominal				
E	Peito				
		esquerdo		direito	
		Sem	Com	Sem	Com
F	Ombro				
G	Braço				
H	Cotovelo				
I	Punho/mão				
J	Anca/cintura				
L	Coxa				
M	Joelho				
N	Tornozelo / pé				



### 3. Avaliação do desconforto

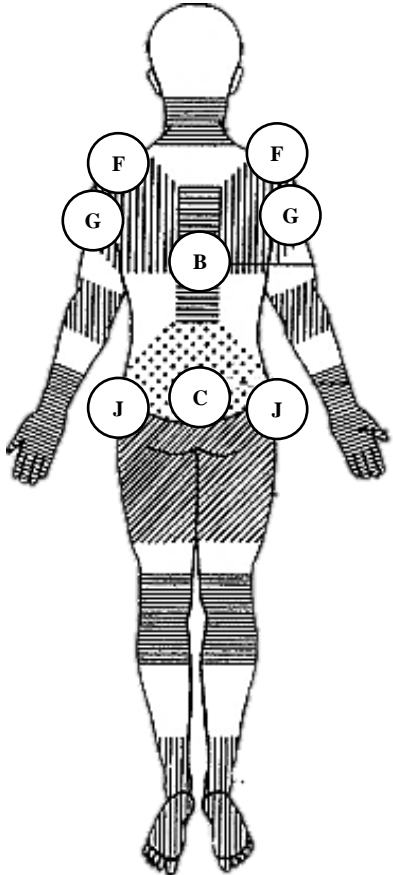
A utilização do exo-esqueleto pode provocar desconforto. Este pode estar associado a uma ou à combinação das seguintes razões: pressão, calor, transpiração, fricção, irritação na pele, entre outros.

Solicitamos a sua colaboração para identificarmos as oportunidades de melhoria, por favor.

1	2	3	4	5	6	7
Mínimo desconforto						Máximo desconforto

a. Depois do período de utilização do exo-esqueleto, **escreva** na coluna “**desconforto**” o **número** que melhor traduz o **desconforto** sentido, tendo em conta a escala acima apresentada.

	Região corporal	Desconforto	
B	Região dorsal		
C	Região lombar		
D	Região abdominal		
E	Peito		
		esquerdo	direito
F	Ombro		
G	Braço		
J	Anca/cintura		





#### 4. Perguntas sobre a aceitação do exo-esqueleto (marca Skel-ex).

Classifique, por favor, as seguintes afirmações:

	Discordo totalmente					Concordo totalmente	
	1	2	3	4	5	6	7
As <b>funcionalidades</b> do exo-esqueleto vão ao encontro das minhas necessidades na realização da minha atividade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Discordo totalmente					Concordo totalmente	
	1	2	3	4	5	6	7
Na execução das minhas tarefas, o exo-esqueleto é fácil de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Discordo totalmente					Concordo totalmente	
	1	2	3	4	5	6	7
O exo-esqueleto é fácil de vestir e despir	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### 5. Intenção de uso

Classifique, por favor, as seguintes afirmações:

	Não concordo					Concordo totalmente	
	1	2	3	4	5	6	7
Eu gostaria de <b>ter acesso</b> ao exo-esqueleto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu <b>usaria</b> o exo-esqueleto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. O que considera **positivo** ao usar o exo-esqueleto dos membros superiores?

---

---

---

---

---

---

---

7. O que considera **negativo** ao usar o exo-esqueleto dos membros superiores?

---

---

---

---

---

---

---

**Obrigado pela sua colaboração!**

## Anexo F: Questionário Diário\_1 – 1ª Fase e 2ª Fase

<b>Data:</b> _____  <input type="checkbox"/> <b>Turno da manhã</b> <input type="checkbox"/> <b>Turno da tarde</b>	<b>Código de participação</b>	<b>Tempo de utilização</b>
	<b>EXO:</b> <div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div>	<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div> <div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin: 0 5px;"></div>

Classifique, por favor, as seguintes afirmações utilizando a escala disponibilizada em que **1**= Não concordo e **7** = Concordo totalmente.

Pedimos-lhe que avalie, por favor, em que medida o exo-esqueleto o **ajudou** na realização dos processos realizados neste posto de trabalho.

O exo-esqueleto <b>ajudou-me:</b>	Não concordo					Concordo totalmente	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
... na realização das tarefas acima do nível do ombro.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... na realização das outras tarefas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pedimos-lhe que avalie, por favor, em que medida o exo-esqueleto o **perturbou** na realização dos processos realizados neste posto de trabalho.

O exo-esqueleto <b>perturbou-me:</b>	Não concordo					Concordo totalmente	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
... na realização das tarefas acima do nível do ombro.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... na realização das outras tarefas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Anexo G: Questionário de Usabilidade\_1 (Questão 8) – 2ª Fase

Questão adicional inserida no Questionário de Usabilidade utilizado na estação de trabalho “EPB/ Ligação Tubos Travão”.

### 8. Comparação da utilização dos exo-esqueletos

Comparando a experiência com o exo-esqueleto anterior, como avalia o Skel-ex 360?  
Classifique, por favor, as seguintes afirmações:

O Skelex 360...	Não concordo					Concordo totalmente	
	1	2	3	4	5	6	7
Provoca menos <b>calor</b> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
As <b>alças</b> provocam menor fricção e irritação na pele.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
As <b>braçadeiras</b> provocam menor fricção, irritação na pele ou outro tipo de desconforto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
É mais <b>leve</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Permite, de modo geral, maior <b>liberdade de movimentos</b> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Permite maior liberdade de movimentos ao <b>apanhar objetos do chão</b> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Permite a realização das tarefas sem ter <b>receio de colidir</b> com os meus colegas ou com o carro.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Permite a realização das tarefas sem <b>ficar preso na cablagem</b> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>